



DIPLOMARBEIT

Herr
Ing. Georg Haas

Digitale Fabrik

**Prozessmanagement in
Fahrzeugentwicklungs- und
Produktionsorganisationen**

2015

DIPLOMARBEIT

Digitale Fabrik

Prozessmanagement in Fahrzeugentwicklungs- und Produktionsorganisationen

Autor:

Herr Ing. Georg Haas

Studiengang:

Wirtschaftsingenieurwesen

Seminargruppe:

KW11sGA-F

Erstprüfer:

Herr Prof. Dr. Dr. h.c. Hartmut Lindner

Zweitprüfer:

Herr Prof. Dr. rer. oec. Johannes Stelling

Einreichung:

Graz, 17.07.2015

DIPLOMA THESIS

Digital Factory

Process management in vehicle development- and production organizations

author:

Mr. Ing. Georg Haas

course of studies:

industrial engineering

seminar group:

KW11sGA-F

first examiner:

Mr. Prof. Dr. Dr. h.c. Hartmut Lindner

second examiner:

Mr. Prof. Dr. rer. oec. Johannes Stelling

submission:

Graz, 17th July, 2015

Bibliografische Angaben

Haas, Georg:

Digitale Fabrik –

Prozessmanagement in Fahrzeugentwicklungs- und Produktionsorganisationen

Digital Factory –

Process management in vehicle development- and production organizations

60 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences,

Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Diplomarbeit, 2015

Referat

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, für produzierende Unternehmen in der Automobilindustrie einen Leitfaden zu schaffen, mit welchem Effizienzsteigerungen durch den Einsatz der Methoden und Verfahren der Digitalen Fabrik erzielt werden und somit langfristig der Erfolg und die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens gesichert werden kann. Der Schwerpunkt dieser Arbeit ist den Systemumgebungen und deren Spezifika zur Implementierung einer virtuellen Fabrik gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VII
Formelverzeichnis	VIII
Abbildungsverzeichnis	IX
1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung	2
1.2 Zielsetzung eines neuen Prozessmanagements	4
1.3 Vorgehensweise	6
2 Digitale Fabrik	8
2.1 Definition Digitale Fabrik	9
2.2 Entwicklung der Digitalen Fabrik	11
2.2.1 Grundsätzliche Vision	11
2.2.2 Historische Entwicklung	12
2.3 Die Digitale Fabrik in der Automobilindustrie	16
2.4 Nutzen der Digitalen Fabrik.....	18
2.4.1 Nutzen der DF im Bereich Zeit / Qualität / Kosten	19
2.4.2 Nutzen der DF bei der Übergabe an den Betrieb	21
2.5 Industrie 4.0	22
2.5.1 Die vierte industrielle Revolution	23
2.5.2 Herausforderung für den Automobilbau.....	25
3 Prozessmanagement in Fahrzeugentwicklungsorganisationen	26
3.1 Grundlagen der Entwicklungsprozesse	27
3.1.1 Produkt Datenmanagement (PDM)	28
3.1.2 Stücklisten- und Freigabemanagement (E-BOM)	29
3.1.3 Virtuelles Fahrzeug (DMU).....	30
3.2 Ist Situation Entwicklung	31
3.2.1 Strukturdatenmanagement.....	32
3.2.2 Stücklistenmanagement.....	33

4	Prozessmanagement in Produktionsorganisationen	34
4.1	Grundlagen der Produktionsprozesse	35
4.1.1	Methoden- und Datenmanagement.....	36
4.1.2	Manufacturing BOM (M-BOM).....	37
4.1.3	Ressourcen und Prozesse	38
4.1.4	Simulationsmodell.....	39
4.2	Ist Situation Produktion	40
4.2.1	Layoutplanung	41
4.2.2	Produktionsplanung	42
4.2.3	Simulationsplanung.....	43
5	Umsetzung der Digitalen Fabrik.....	44
5.1	Reorganisation in gesamtheitlicher Betrachtung	46
5.2	Soll-Situation - Systemintegrationen.....	48
5.2.1	Systembeschreibung.....	50
5.2.2	Funktionsweise	51
5.2.3	Prozessoptimierung	52
5.3	Kosten Nutzenanalyse	53
5.3.1	Einheitliches System.....	55
5.3.2	Zusammenführung der Strukturen.....	56
5.3.3	Übergreifende Prozesse / Simultaneous Engineering	58
6	Abschließende Betrachtung.....	59
	Literaturverzeichnis	XI
	Eigenständigkeitserklärung	XIII

Abkürzungsverzeichnis

AWF	Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung e.V.
BIW	Body in White
BOM	Bill of Material
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAP	Computer-Aided/Assistent Planning
CAQ	Computer Aided Quality Assurance
CIM	Computer Integrated Manufacturing
DF	Digitale Fabrik
DMB	Digitale Montage Bewertung
DMU	Digital Mockup
EBOM	Engineering Bill of Material
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EOP	End of Production
HIM	Human Integrated Manufacturing
ICM	Information Chain Management
MBOM	Manufacturing Bill of Material
MM	Mannmonate
MTM	Methods-Time Measurement
PEP	Produktentstehungsprozess
PDM	Produktdatenmanagement
PLM	Product Lifecycle Management
PPS	Produktionsplanung und –steuerung
SOP	Start of Production
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
TCE	TeamCenter Engineering
TCM	TeamCenter Manufacturen
VDI	Verband Deutscher Ingenieure

Formelverzeichnis

Produktivität:

$$\text{Produktivität} = \frac{\text{Ausbringungsmenge}}{\text{Einsatzmenge}}$$

Wirtschaftlichkeit:

$$\text{Wirtschaftlichkeit} = \frac{\text{Ertrag}}{\text{Aufwand}}$$

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fokus der Digitalen Fabrik im Fadenkreuz der Unternehmensprozesse	10
Abbildung 2: Informationssysteme im Produktionsbereich – Y-CIM Modell	13
Abbildung 3: Grundkonzept der Digitalen Fabrik	17
Abbildung 4: Die vier Stufen der Industriellen Revolution	23
Abbildung 5: Ist-Situation Datenaustausch Entwicklung-Produktionsplanung	31
Abbildung 6: Simulationsmodell für virtuelle Absicherung	39
Abbildung 7: Ist-Situation der Systemarchitekturen der Produktionsplanungsbereiche	40
Abbildung 8: Digitales Hallenlayout Modell	41
Abbildung 9: Reorganisation durch die Digitale Fabrik	46
Abbildung 10: Soll-Situation Datenaustausch Entwicklung-Produktionsplanung	48
Abbildung 11: Soll-Situation der Systemarchitekturen der Produktionsplanungsbereiche	49
Abbildung 12: Datenverwaltungs-, Konstruktions- und Planungskonzept der DF	50
Abbildung 13: Koppelung der Produktdaten EBOM-MBOM	56

1 Einleitung

Die Automobilindustrie ist dafür bekannt, als eines der größten Segmente im Bereich der Forschung, Fortentwicklung und Neuentwicklung am heutigen technischen Fortschritt beizutragen. Dieser Industriezweig hat nicht nur bei praxisbezogener, technischer Weiterentwicklung im Bereich des Komforts und der Sicherheit für den Verbraucher eine gewisse Stelle als Vorreiter eingenommen, sondern trägt auch im theoretischen Entwicklungsbereich zu einer permanenten Verbesserung und Entwicklung von Geschäftsmodellen und Projektprozessen bei.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden die aktuellen Gegebenheiten und Herausforderungen der Automobilindustrie zusammengefasst und anhand von theoretischen, wie auch praxisbezogenen Ansätzen und Modellen dargelegt. Im ersten Kapitel werden die derzeitigen Problemstellungen und unternehmensinternen Umsetzungsschwierigkeiten der produzierenden Unternehmen formuliert. Im zweiten Kapitel werden die theoretischen Ansätze aus der Literatur zur Bildung eines allgemeinen Verständnisses veranschaulicht, indem die Begrifflichkeiten und Definitionen der Digitalen Fabrik und der Industrie 4.0 erklärt werden und auf deren theoretische Konzepte, die zum aktuellen Umsetzungsstand beigetragen haben, eingegangen wird. Einerseits wird erläutert wie sich die einzelnen Umsetzungsverfahren in der Vergangenheit entwickelt haben und andererseits werden die künftigen Vorhaben zur Verbesserung von Entwicklungs- und Produktionsprozessen erklärt. Letztendlich wird die Wichtigkeit einer Zusammenführung dieser ausschlaggebenden Erfolgsträger präzisiert.

Mit diesem grundlegend gewonnen Wissensstand werden in den Kapiteln drei und vier die aktuellen Ist-Situationen der Fahrzeugentwicklungs- und Produktfertigungsbereiche ausführlich dargelegt, sowie die weitgestreuten Systemarchitekturen und deren unterschiedliche Verwaltungsformen dargestellt.

Im fünften und letzten Kapitel wird konkretisiert, wie die theoretischen Ansätze in der Praxis verwirklicht werden können. Dabei wird gezielt auf die Verbesserungsmöglichkeiten des derzeitigen Prozessmanagements einer Fahrzeugfertigung eingegangen. Mit Hilfe von Instrumenten und Methoden werden diese einander gegenübergestellt, um dadurch nichtgenutzte Potentiale analysieren und aufzeigen zu können.

1.1 Problemstellung

Zu den Erschwernissen einer Umsetzung von Fahrzeugprojekten zählen neben den organisatorischen Herausforderungen des Projektmanagements auch immer mehr die zeitaufwendigen und kostenintensiven Systemintegrationen, die für den Aufbau von systemgestützten Prozessen benötigt werden. Der unbekannte Grad der Servernutzung und die benötigte Anzahl von Lizenzen ist während der Angebotsphase schwer kalkulierbar und kann das, vor allem bei Projektstart, zu erheblichen Zeitverzögerungen führen.

Es geht hervor, dass sich produzierende Unternehmen mit der immer größer werdenden Vielfalt von Planungs-, Verwaltungs- und Produktionsprogrammen auseinandersetzen müssen, um eine übergreifende Systemarchitektur für einen durchlaufenden Produktentstehungsprozess generieren zu können. Gefordert werden hierbei nicht nur Anpassungen von Systemlandschaften, sondern auch Umstellungen von Organigrammen, die zum Erfolg einer Verwirklichung einen erheblichen Teil beitragen.

Die Systemproblematiken sind zurückzuführen auf die vielen unterschiedlichen Systemmethoden und Prozessstrukturen, die die einzelnen Planungstools zum Einsatz benötigen. Die Datenserverbedarfe werden unnötig durch mehrfache Speicherungen von identischen Informationsinhalten in abweichenden Dateiformaten erhöht und führen infolgedessen zu hohen Systemkosten, die in den Projektbudgets selten berücksichtigt werden. Die Konvertierungen und Formatierungen von Produktdaten erfordern massive Zeitaufwendungen bei der Überführung in andere Planungssysteme und haben nebenbei auch den großen Nachteil eines dauerhaft bleibenden Informationsverlustes, durch das Verändern der Dateistrukturen. Zugleich erfordert dies eine Vervielfachung von Arbeitsumfängen, da zum Beispiel kinematisierte CAD-Modelle, das sind 3D Objekte mit Bewegungsinformationen die für Ablaufsimulationen benötigt werden, in unterschiedlichen Systemen mit verschiedenen Darstellungsweisen aufgebaut sind und in den meisten Fällen nur geometrisch übernommen werden können, wodurch die Modellierungen und das Modellverhalten erneut aufgebaut werden müssen.

Daraus gehen sehr oft organisatorische Komplikationen hervor, da aufgrund der differierenden Systemeigenschaften völlig verschiedene Anforderungen an Produkt- und Ressourcenmodelle gestellt werden.

Während der Laufzeit eines Projektes kann es somit sehr leicht zu Unstimmigkeiten und Behinderungen der differierenden Strukturen kommen und des Weiteren auch zu Verwirrungen der einzelnen Projektteams führen, da die Module parallel von Organisationen geleitet werden, die zwar das gleiche Ziel verfolgen, jedoch konträre Realisierungsmethoden dazu einsetzen.

Eine weitere Problematik dieses aktuell eingesetzten Projektprozesses bildet der direkte Konflikt der gegenüberstehenden Kontrahenten, da es bei Projektentscheidungen, mit der Verfolgung von unterschiedlichen Interessen, zu internen Diskussionen der Entscheidungsträger kommen kann, die zu Verzögerungen des Umsetzungsbeschlusses führen können, oder im schlimmsten Falle sogar zur Umsetzungsverweigerungen eines vom anderen festgelegten Lösungsmodelles.

1.2 Zielsetzung eines neuen Prozessmanagements

Die in Punkt 1.1 genannten Problemfälle spiegeln sich zwangsläufig anhand von internen Spannungen in Fahrzeugprojekten wider und können demnach in weiterer Sicht zu Projektverzögerungen führen. Um dieses Risiko einzugrenzen und gleichzeitig den Marktwert des Unternehmens im Wettbewerb zu steigern ist eine Optimierung des Prozessmanagements auf systembasierender Grundlage gefordert und ein organisatorisch übergreifendes Konzept muss entwickelt werden.

Durch den Einsatz der Digitalen Fabrik soll im Unternehmensumfeld der Produktentstehungsprozess vereinheitlicht werden. Die in den Fahrzeugentwicklungsorganisationen eingesetzten Strukturen, wie die Stückliste und die CAD-Geometriestruktur, sollen so aufgebaut werden, dass sie in weiterer Folge direkt von den Produktionsplanungsorganisationen in ihren Planungssystemen verwendet werden können. Auf Basis einer zusammengeführten Datenverwaltung, soll bereits bei der Produktentstehung synchron zur Entwicklungsstruktur eine Fügefolgestruktur für die weitere Verwendung in der Ablaufplanung aufgebaut werden, um so Planungszeit zu reduzieren. Die Datenbereitstellung von Produktdaten, wie auch die Bereitstellung von Layouts und Ressourcendaten soll anhand eines einheitlichen Dateiformates innerhalb einer zentralen Datenverwaltung erfolgen.

Die Bereiche Layout-, Prozess- und Anlagenplanung sollen organisatorisch so aufgestellt sein, dass sie in einen gemeinsamen Prozessbaum einarbeiten und sich somit gegenseitig unterstützen. Eine detaillierte Regelung für die Einhaltung von Planungsstandards muss getroffen werden und sollen dadurch die Inbetriebnahmetätigkeiten, die vor dem Start der Produktion auszuführen sind, vereinfacht und im gleichen Zuge zu einer schnelleren Umsetzungszeit führen.

Ein weiteres Ziel ist eine automatisierte Integration der aus der Produktion rückfließenden Informationen in den Planungsprozess, um den Umfang der unterschiedlichen Informationsstände zu minimieren und gleichzeitig den Planungsprozess permanent mit aktuellen Datenständen zu versorgen. Die Produktionsplanung ist darauf angewiesen, ununterbrochen mit den aktuellsten Entwicklungsständen versorgt zu werden und kann angesichts der aktuellen Produktionsstände individuell und zielgerichtet auf Änderungen eingehen,

wodurch die Durchlaufzeit der Planungstätigkeiten minimiert wird und der Output für die Produktion in einer verbesserten Qualität bereitgestellt werden kann.

Es wird angestrebt eine neue Organisationstruktur zu etablieren, die eine Umsetzung von einheitlichen Planungstools unterstützt und in den Folgeprojekten von der Angebotsschätzung bis zum Ende des Projektes eingesetzt werden kann. Mit einer solchen Struktur wäre es möglich, den Projektablauf, die Qualität und in demselben Maße die Projektlaufzeit zu optimieren, da jegliche internen Diskussionen, beziehungsweise Komplikationen der verschiedenen Abteilungseinheiten im Vorfeld abgeklärt werden könnten, oder sogar durch das Einsetzen einer gemeinsamen Verwaltungsstruktur teilweise wegfallen könnten. Dadurch würden nicht nur die einzelnen Projektteams profitieren, sondern auch die einzelnen Fachbereiche, sowie auch das gesamte Umsetzungsprojekt.

Zusammengefasst sollte es die Evaluierung von Methoden und Prozessen vereinfachen, da auf einen Fahrzeugbaum referenziert werden könnte, anstatt auf differierende Strukturen Rücksicht nehmen zu müssen. Durch eine Zusammenführung der Organisationen würde sich eine einheitlich angestrebte Struktur ergeben, wodurch die Richtlinien für die einzelnen Fachbereiche konzentrierter umgesetzt werden könnten.

1.3 Vorgehensweise

Die Implementierung der Digitalen Fabrik in den bestehenden Entwicklungs- und Planungsprozess setzt voraus, die derzeitigen Verhältnisse zu evaluieren und mit Hilfe der theoretischen Ansätze und Werkzeuge für eine Umsetzung anzupassen.

Um einen Überblick über den aktuellen theoretischen Wissenstand zu gewinnen, wird in erster Hinsicht die Klärung der Begrifflichkeiten und Definitionen angestrebt und mit einem Rückblick auf die historische Entwicklung, sowie der Zukunftsvisionen wird ein Eindruck über den großen Umfang dieser Thematik erreicht. Mit diesem aufgebauten Wissensstand werden in weiterer Vorgehensweise die Ist-Stände der Fahrzeugentwicklungs- und Produktionsplanungsumfänge analysiert und der daraus entstandene Handlungsbedarf wird aufgezeigt.

Nach einer Gegenüberstellung der Planungssysteme wird mittels der in der Theorie erlangten Wissensstände ein Konzept erarbeitet. Anhand eines Praxisbeispiels wird veranschaulicht, wie es möglich wäre die derzeitigen Systeme und Organisationen mit Hilfe von Methoden der Digitalen Fabrik zu vereinheitlichen und eine geforderte einheitliche Systemarchitektur zu implementieren. Um dem Nutzen dieser Konzeption Bedeutung zu verleihen, müssen Kostenpotentiale des zukünftigen Modells erarbeitet werden und die Rentabilität bzw. der daraus generierte Nutzen nachweisbar gemacht werden.

Die nachstehend angeführten Punkte müssen bei der Erarbeitung eines übergreifenden Systems betrachtet und berücksichtigt werden, wobei der Einsatz einer einheitlichen Verwaltungsstruktur die Voraussetzung wäre, in der die CAD-Struktur mit der Stücklistenstruktur verbunden wäre und automatisiert in den Planungsprozess eingebunden werden könnte. Auch einheitliche Datenmodelle sollten von den Anwendungssystemen verwendet werden können.

Dabei müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Die CAD- Struktur muss als Gesamtfahrzeug in Modulen und Submodulen ausleitbar sein.
- Die Systemarchitektur muss mehrere CAD-Formate unterstützen, die auch von den Anwendungstools ohne Konvertierungsprozesse verwendet werden können und ein Export für Berechnungsformate muss bereitgestellt werden können
- Bereitgestellte Kunden- oder Lieferantendaten müssen importiert und auch in die Struktur integriert werden können
- Datenversorgungen an den Kunden, oder an die Lieferanten mittels vorgefertigten und bereits eingesetzten Verbindungstools müssen möglich sein
- Stücklistenrelevante Informationen werden teilweise anhand von Windows Applikationen verwendet (Word, Excel), welche vom System unterstützt werden müssen und in weiterer Hinsicht zu einzelnen Baugruppen verknüpft oder verlinkt werden können
- Für die Verwaltung der zusammengeführten Stücklisten- und CAD-Struktur muss es möglich sein, ein 150%-Fahrzeug aufbauen zu können, inklusive aller Motorvarianten, Sitzvarianten, Farben, Stoffe etc., welches als Ganzes oder auch über eine Variantensteuerung aufgerufen und dargestellt werden kann
- Die Benutzeroberfläche sollte keine großen Abweichungen zu der jetzt eingesetzten Variante aufweisen, um Schulungszeiten und Eingewöhnungsphasen zu verkürzen

Beim Start eines neuen Projektes sollte diese neue Verwaltungsstruktur eingesetzt werden können. Die bisher eingesetzten Systemoberflächen müssen in die neue Systemarchitektur integriert bzw. durch sie ersetzt werden können und der Strukturaufbau sollte bereits durch eine gemeinsame, vereinheitlichte Auslegung erfolgen.

2 Digitale Fabrik

Der Begriff **Digitale Fabrik (DF)** wird heutzutage auch sehr oft mit der Bezeichnung **Industrie4.0** in Verbindung gebracht, da sie den Grundstein für die künftige Forschung und Entwicklung darstellt. Vorsicht ist jedoch bei einer Gleichstellung der Begriffe DF und Industrie 4.0 geboten. Obwohl sie auf den ersten Blick ähnliche Motive und Umsetzungspläne aufweisen, verfolgen die beiden Konzepte bei näherer Betrachtung unterschiedliche Ziele. Während sich die DF auf Systemarchitekturen, bzw. auf Standardisierungen konzentriert, verfolgt die Industrie 4.0 den Gedanken einer intelligenten Fabrik, näheres dazu wird in den Unterpunkten ersichtlich.

Die permanente Weiterentwicklung und kontinuierliche Verbesserung des Entwicklungs- und Produktionsprozesses, sowie die Vereinheitlichung und Zusammenführung übergreifender Prozesse und Organisationsstrukturen zählen zum Leitbild der DF. Ziel ist es mittels bereitgestellter Werkzeuge die vielen einzelnen Struktur-, Daten-, Konstruktions- und Simulationssysteme zusammenzuführen und in Verbindung mit dem Datenrückfluss von Produktionskennzahlen in eine gesamtheitliche und übergreifende systemgestützte Betrachtung zu führen. Dies scheint aber leider in vielen Fällen sehr problematisch, da unter der Digitalen Fabrik nicht nur die softwaretechnische Umstellung einer Systemarchitektur als Herausforderung gilt, sondern auch ein allgemeines Verständnis in den Unternehmen dafür entwickelt und gefestigt werden muss.

Generell wird die DF als ein Modell charakterisiert, das im Verbund mit der Verwendung von rechnergestützten Werkzeugen zu sehen ist, um ein Modell der realen Fabrik auf einem Rechner abbilden, berechnen und bildlich darstellen zu können. In diesem Zusammenhang wird die DF als ein industrieller Betrieb verstanden, welcher in einem rechnergestützten Modell die reale Fabrik mit ihren Strukturen, Prozessen und Ressourcen in Verbindung mit dem Produkt darstellt. Es handelt sich daher nicht nur um ein dreidimensionales Datenmodell, sondern vielmehr um ein ganzheitliches Konzept, das die mit der Produktion verbundenen Abläufe und Aufgaben miteinbezieht.¹

¹ Vgl. SCHACK 2008, Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik, S. 12

2.1 Definition Digitale Fabrik

In der Literatur, sowie auch in den Unternehmen selbst, wird der Begriff „Digitale Fabrik“, je nach Ansichtswiese und Ausrichtungsgrad, in unterschiedlichen Begriffsbestimmungen dargelegt. Sehr oft wird das umfangreiche Konzept der Digitalen Fabrik (DF) mit den seit Jahren eingesetzten computergestützten Planungs- und Produktionsmethoden gleichgesetzt. In ihrer grundsätzlichen Definition als Bindeglied zwischen der Produktentwicklung, der Produktionsplanung und der Produktion selbst, verkörpert sie somit die Zusammenführung aller relevanten Daten und Informationen als grundlegende Basis, auf der der Produktentstehungsprozess aufgebaut werden kann. So gesehen ist die DF ein Abbild der realen Fabrik, mit sämtlichen Elementen und Prozessen, welche die Strukturen und Fertigungsprozesse in einem digitalen Modell, in der Gesamtheit aller Methoden und Werkzeuge, zur durchgängigen Unterstützung von Fabrikplanung und –betrieb darstellt.²

Um die unterschiedlichen Begriffsdefinitionen einzugrenzen und die daraus entstehenden Missverständnisse zu minimieren, wurde im Jahr 2002 innerhalb des VDI (Verband Deutscher Ingenieure) ein neuer Fachausschuss „Digitale Fabrik“ gegründet, welcher als Grundmotiv die vielseitigen Interpretationen zu einer einheitlichen Auslegung zusammengeführt hat. Demzufolge wurde der Begriff „Digitale Fabrik“ 2008 unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing Uwe Bracht in der Richtlinie VDI 4499 erstmalig und branchenübergreifend definiert, wodurch die diskutierten Auffassungen vereinheitlicht und zusammengeführt wurden. Dies geschah unter der Berücksichtigung, genügend Freiheiten für die Gestaltung und die Umsetzung in den einzelnen Bereichen zu lassen.³

Anhand dieser Richtlinie wird präzisiert welche Ziele die Digitale Fabrik verfolgt und ein Überblick über diverse Anwendungsgebiete und dem daraus generierten Nutzen wird geschaffen. Ebenfalls werden Methoden und Werkzeuge für Unternehmensmodelle erläutert und zuzüglich auch auf die große Bedeutung des Datenmanagements und die organisatorischen Maßnahmen verwiesen.⁴

² Vgl. Bracht/Geckler/Wenzel 2011, Digitale Fabrik, S.9 f.

³ Vgl. Bracht/Geckler/Wenzel 2011, Digitale Fabrik, S.11 f.

⁴ Vgl. https://www.vdi.de/richtlinie/vdi_4499_blatt_1-digitale_fabrik_grundlagen.html (Stand 12.05.2015)

Die erarbeitete VDI-Richtlinie 4499 besagt:

„Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u.a. der Simulation und der dreidimensionalen Visualisierung –, die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden.

Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt.“⁵

In der VDI 4499 wird die strukturelle Gestaltung einer Fabrik, mitsamt den ineinandergreifenden Prozessen und Methoden verdeutlicht, wodurch ersichtlich wird, dass ein durchgängiger Produkt- und Produktionsentstehungsprozess nicht anhand von Insellösungen umsetzbar ist, sondern nur mithilfe einer übergreifenden Vernetzung aller unternehmensinternen Bereiche, zur Realisierung des Auftragsabwicklungsprozesses, zu verwirklichen ist.

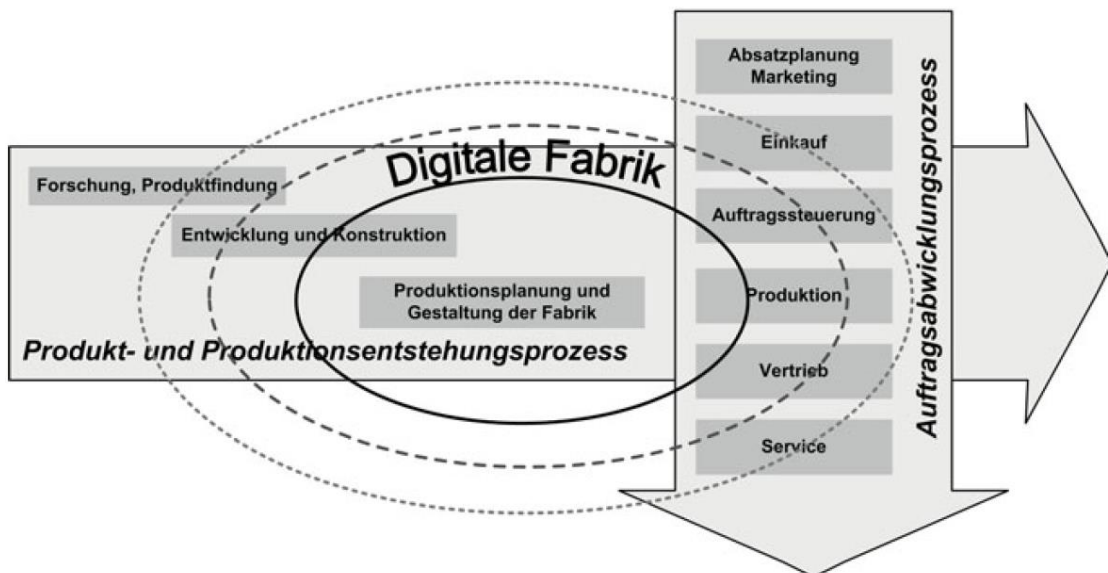


Abbildung 1: Fokus der Digitalen Fabrik im Fadenkreuz der Unternehmensprozesse⁶

⁵ VDI-Fachbereich Fabrikplanung und -betrieb 2008, VDI 4499 Blatt1 Digitale Fabrik – Grundlagen S.3

⁶ VDI-Fachbereich Fabrikplanung und -betrieb 2008, VDI 4499 Blatt1 Digitale Fabrik – Grundlagen S.3

2.2 Entwicklung der Digitalen Fabrik

2.2.1 Grundsätzliche Vision

Die grundsätzliche Vision der „Digitalen Fabrik“ manifestierte sich am Leitgedanken der Zusammenführung aller rechnergestützten CAD- (Computer Aided Design) und Planungswerkzeuge zum Zwecke der Standardisierung. Als Herausforderungen etablierten sich sowohl die bevorstehenden Datenmanagement- und Systemintegrationen, als auch die differierenden Prozessabhandlungen des Workflowmanagements.

Das generelle Ziel richtete sich darauf, die reale Produktion zu digitalisieren und den Produktplanungsprozess auf CAD- und simulationsgestützten Systemen zu realisieren. Verglichen mit der Produktentwicklung, welche schon seit Jahrzehnten über CAD- und Zeichnungsprogramme abgehandelt wird, da der Nutzen daraus sehr schnell ersichtlich war, dauerte die Weiterentwicklung und Digitalisierung von Produktionsplanungsprozessen etwas länger. Bis heute werden teilweise noch Insellösungen für diverse Planungsaufgaben angewandt, anstatt sie in einer übergreifenden Systemarchitektur zu verwalten und in weiterer Folge zur interaktiven Zusammenarbeit zu nutzen.

Die im Zuge der Digitalen Fabrik evaluierten Methoden und Verfahren sollten einen strategischen Nutzen für Unternehmen generieren und ihre Vorteile beispielsweise „in der Effizienzsteigerung der Planung und Produktion, in einer Erhöhung der Auslastung im Werk, in der Vermeidung von Änderungskosten im Anlauf sowie durch eine höhere Planungsgüte bedingt durch frühzeitig abgesicherte Entwicklungsstände“⁷ aufweisen.

„Die aktuell verfolgten Ansätze bei der Einführung der Digitalen Fabrik sind die Optimierung der Planungsprozesse, die frühzeitige Absicherung der Planungsumfänge, eine gewerkeübergreifende Integration von Entwicklung und Produktion sowie die Sicherstellung der Datendurchgängigkeit.“⁸

⁷ Bracht/Geckler/Wenzel 2011, Digitale Fabrik, S.15 f.

⁸ Bracht/Geckler/Wenzel 2011, Digitale Fabrik, S.16

2.2.2 Historische Entwicklung

Die grundlegende Idee einer digitalen Fabrikplanung entstand in den frühen 1980er Jahren und fokussierte sich vorerst auf die rechner- und datenbankgestützte Flächen- und Layoutplanung. Mit den Vorteilen von zentral verwalteten Werks- und Gebäudeplänen, und den damit vereinfachten Ausleitungen von Kennzahlen- und Planungsdaten, erkannte man sehr schnell den großen Nutzen von Strukturdatenbanken und die Notwendigkeit einer Weiterentwicklung von Planungssystemen.

Computer Integrated Manufacturing

Ein grundsätzliches Konzept entstand Anfang 1980 unter dem Begriff Computer Integrated Manufacturing (CIM) und hatte das Ziel einer durchgängigen digitalen Informationsverknüpfung. Allgemein wird es als ein Produktionskonzept verstanden, welches zugleich automatisiert und flexibel sein soll, und durch dessen Einsatz einem Unternehmen die Möglichkeit einer besseren Kundenorientierung bietet, um eine schnellere Reaktionsfähigkeit für kleinere Serien bei niedrigeren Beständen zu erreichen.⁹

Im Jahr 1985 wurde der Begriff CIM erstmalig vom Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung (AWF) wie folgt definiert:

„CIM beschreibt den integrierten EDV-Einsatz in allen mit der Produktion zusammenhängenden Betriebsbereichen. Es umfasst das informationstechnische Zusammenwirken zwischen CAD, CAP, CAM, CAQ und PPS. Hierbei soll die Integration der technischen und organisatorischen Funktionen zur Produkterstellung erreicht werden. Dies bedingt die gemeinsame Nutzung einer Datenbasis.“¹⁰

Mit diesem Ansatz wurden die Eckpfeiler für ein funktionsfähiges, übergreifendes Planungskonzept aufgezeigt und es dient bis heute als Basis für alle darauf aufgesetzten Modelle und Konzepte.

⁹ Vgl. Bracht/Geckler/Wenzel 2011, Digitale Fabrik, S.5 f.

¹⁰ AWF 1985, Integrierter EDV-Einsatz in der Produktion, S.10

Y-CIM Modell¹¹

Aufbauend auf die CIM-Darstellung vom AWF beschäftigte sich Prof. Dr. A.-W. Scheer mit dem Integrationsgedanken des theoretischen Konzeptes in ein produktives Umfeld. Das sogenannte „CIM-Y-Modell“ präzisiert den frühen Einsatz von technischen Funktionen aus den CAD/CAM (Computer Aided Manufacturing) Bereichen um sie schon während der Planung mit den betriebswirtschaftlichen Funktionen aus der PPS (Produktionsplanung und –steuerung) zu verbinden.

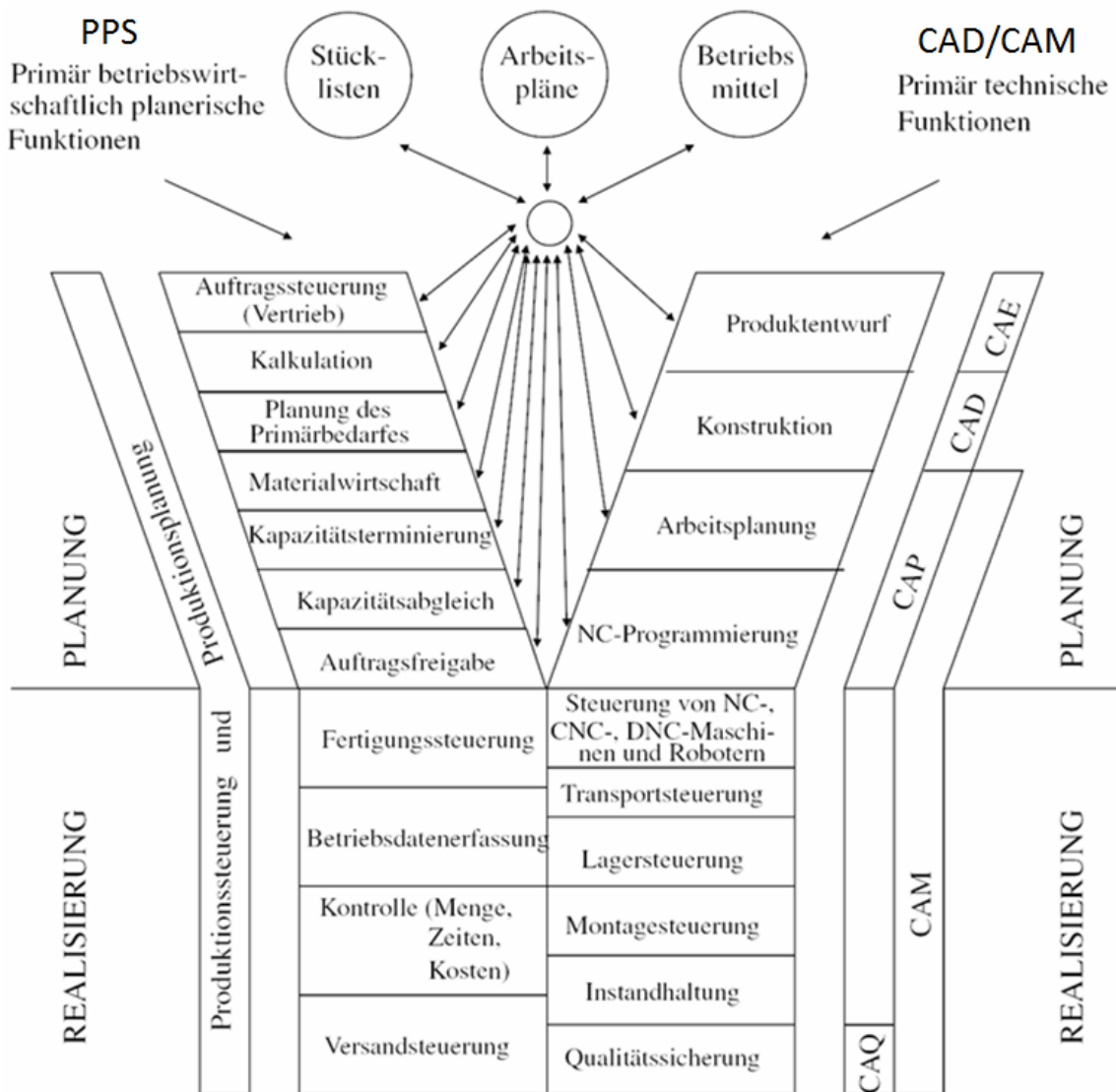


Abbildung 2: Informationssysteme im Produktionsbereich – Y-CIM Modell¹²

¹¹ Vgl. Scheer 1988, CIM – Der computergesteuerte Industriebetrieb, S. 5 ff.

¹² Scheer 1988, CIM – Der computergesteuerte Industriebetrieb, S. 2

Das umfassende Y-CIM Modell von Scheer geht über den betrieblichen Funktionsbereich Produktion weit hinaus und beinhaltet neben den informatorischen- und rechnergestützten Prozessen auch den Materialfluss im Unternehmen.¹³

Im Gegensatz zur Definition vom AWF distanziert sich Scheer jedoch zu diesem Zeitpunkt von der tragenden Bedeutung der CAQ- (Computer Aided Quality Assurance) Komponente und weist die PPS zu den primär betriebswirtschaftlichen planerischen Funktionen zu. Nach diesem Prinzip verdeutlicht er auch die großen Herausforderungen für Unternehmen, bei der Realisierung dieser Integration, ihre Unternehmensorganisationen ändern zu müssen. Diese sollten nicht mehr in aufbauorganisatorischen Strukturen bestimmt werden, sondern anhand von Vorgangsketten ausgelegt werden.¹⁴

Probleme bei der Umsetzung von CIM

Die Einführung von CIM in der Praxis und dessen komplette Umsetzung war mit diversen Problem verbunden, welche rückblickend auf viele technologische, organisatorische und wirtschaftliche Schwierigkeiten rückzuführen sind. Visionäre Ingenieure verfolgten das Ziel einer vollautomatisierten Fertigung, wodurch der Mensch als wichtiger und nicht zuletzt als improvisierender Faktor vernachlässigt wurde. Systemseitig entwickelten sich zeitaufwändige Barrieren, da nicht nur Schnittstellenproblematiken zwischen den verschiedenen Softwaretools unterschätzt wurden, sondern auch der nichtmonetäre Nutzen und die Synergieeffekte zu optimistisch bewertet wurden. In Ergänzung dazu erwiesen sich sowohl die Inflexibilität von vollautomatisierten Fertigungslinien, als auch die zunehmende Variantenvielfalt von Serienfertigungen durch zu hohe Umstellungskosten als unrentabel.¹⁵

„Eine pauschale Aussage, CIM sei gescheitert, ist jedoch nicht richtig. Aus dieser Zeit entstammen unterschiedliche Automatisierungsansätze und rechnergestützte Methoden der Fertigungsplanung, die z. B. auch in die aktuellen Entwicklungen zur Digitalen Fabrik eingeflossen sind.“¹⁶

¹³ Vgl. Groth/Kammel 1994, Lean Management, S. 102

¹⁴ Vgl. Einführung in CIM, 1.3.2 CIM-Konzept nach Scheer

¹⁵ Vgl. Bracht/Geckler/Wenzel 2011, Digitale Fabrik, S.6 f.

¹⁶ Bracht/Geckler/Wenzel 2011, Digitale Fabrik, S.7

Lean Manufacturing

In Folge der Umsetzungsschwierigkeiten des CIM entstanden neue Produktionsplanungskonzepte wie das Lean Manufacturing, welches konzeptionell neue organisatorische Ansätze in den Vordergrund stellt, bevor es technologische Aspekte zur Unterstützung behandelt. Dem bisher vernachlässigten Faktor Mensch wird mit dem Aufkommen des „Lean Management“ wieder eine Bedeutung zugewiesen, ohne jedoch das CIM gänzlich durch ein HIM (Human Integrated Manufacturing) abzulösen. Automatisierte Fertigungsprozesse sind weiterhin ein zentraler Bestandteil des Produktionskonzeptes, jedoch gilt es im Rahmen des Lean Manufacturing anwenderspezifische, flexible Fertigungssysteme zu installieren.¹⁷

Ein weiteres Hauptaugenmerk liegt auch auf der konsequenten Verschwendungsvermeidung von Materialien, sowie auf der sinnvollen Nutzung der menschlichen Kreativität und Anpassungsfähigkeit, wodurch der Produktionsprozess flexibler und wirtschaftlicher gestaltet wird.¹⁸

¹⁷ Vgl. Groth/Kammel 1994, Lean Management, S. 102 f.

¹⁸ Vgl. Bracht/Geckler/Wenzel 2011, Digitale Fabrik, S.7

2.3 Die Digitale Fabrik in der Automobilindustrie

Die virtuelle Fabrik- und Produktionsplanung wird als logische und notwendige Fortsetzung der virtuellen Produktentwicklung gesehen, um somit die Wettbewerbsfähigkeit am Automobilmarkt erhalten zu können. Ziele wie eine Verkürzung der Planungszeit, oder ein schnellerer Produktionsanlauf durch virtuell abgesicherte Produktionsmodelle werden angestrebt, um flexibler und schneller auf Neu- beziehungsweise Integrationsprojekte eingehen zu können. Ein Abgleich der realen Fabrik zur virtuellen Fabrik verschafft den Planungsbereichen Transparenz, wodurch ein schnelleres Erreichen des optimalen Betriebspunktes angestrebt wird.

Folglich stehen alle Unternehmen vor der Herausforderung einheitliche Standards für die datentechnische Integration der Prozesse, Methoden und Werkzeuge, sowie für die integrierte virtuelle Produktionsentwicklung innerhalb des Produktionsmodells, zu entwickeln. Grundlegende Voraussetzungen für die Umsetzung sind automatisierte Schnittstellen für die datentechnische Integration und darüber hinaus eine zusammengeführte Produktstruktur, worin die Inhalte aus Stücklisteninformationen, Geometrie und Verbindungstechnik enthalten sind. Ein konvertierungsfreier Datenaustausch zwischen allen Anwendungsprogrammen ist die Bedingung für ein durchgängiges Änderungsmanagement und soll Informationsverluste durch Konvertierungsprozesse vermeiden.

Eine flächendeckende Umsetzung des Digitalen Fabrik-Konzeptes hat branchenübergreifend aktuell noch kein Unternehmen zur Gänze erreicht und das euphorisch angestrebte Ziel der Realisierung der DF innerhalb weniger Jahre konnte nicht erreicht werden. Hierbei nimmt die Automobilindustrie neben der Luft- und Raumfahrt eine Vorreiterrolle ein, da es in einzelnen Bereichen bereits gelungen ist, im Zuge von Standardisierungs- und Pilotprojekten Teile der DF erfolgreich zum Einsatz zu bringen. In den Automobilunternehmen werden die Potentiale dieses Ansatzes vom verantwortlichen Management als sehr hoch eingeschätzt und die Entscheidung zur Umsetzung wurde bereits von allen großen Herstellern getroffen.¹⁹

¹⁹ Vgl. Bracht/Geckler/Wenzel 2011, Digitale Fabrik, S.15

Wie es in Abbildung 3 ersichtlich wird, verbindet die Konzeption der Digitalen Fabrik die Produktmodelle aus der Fahrzeugentwicklung, mit den Produktionsmodellen der virtuellen Planung und den aus der Produktion abgeleiteten Planungswerkzeugen und schließt somit den gesamten Daten- und Informationsfluss des Produktentstehungsprozesses, welcher als Resultat ein Reales Produkt zur Folge hat. Es bestätigt sich, dass eine funktionierende Kopplung zwischen dem virtuellen Produktmodell und dem virtuellen Produktionsmodell (Pfeile grün & blau, r.o.) zwingend erforderlich ist, um dem Planungsprozess durchgehend transparente Planungsdaten zur Verfügung zu stellen. Die Kommunikation zwischen der virtuellen- und der realen Fabrik ist prägend für die Entwicklungs- und Umsetzungsqualität der DF und beruht auf adäquaten Interaktionen der Planungs- und Produktionsbereiche. Ersichtlich wird dies an der Übermittlung der Vorgaben durch die Planung (blauer Pfeil, Abgesicherte Produktion -> Produktion, li.) und dem Rückfluss der aus der Produktion generierten Werte und Informationen (oranger Pfeil, r.).

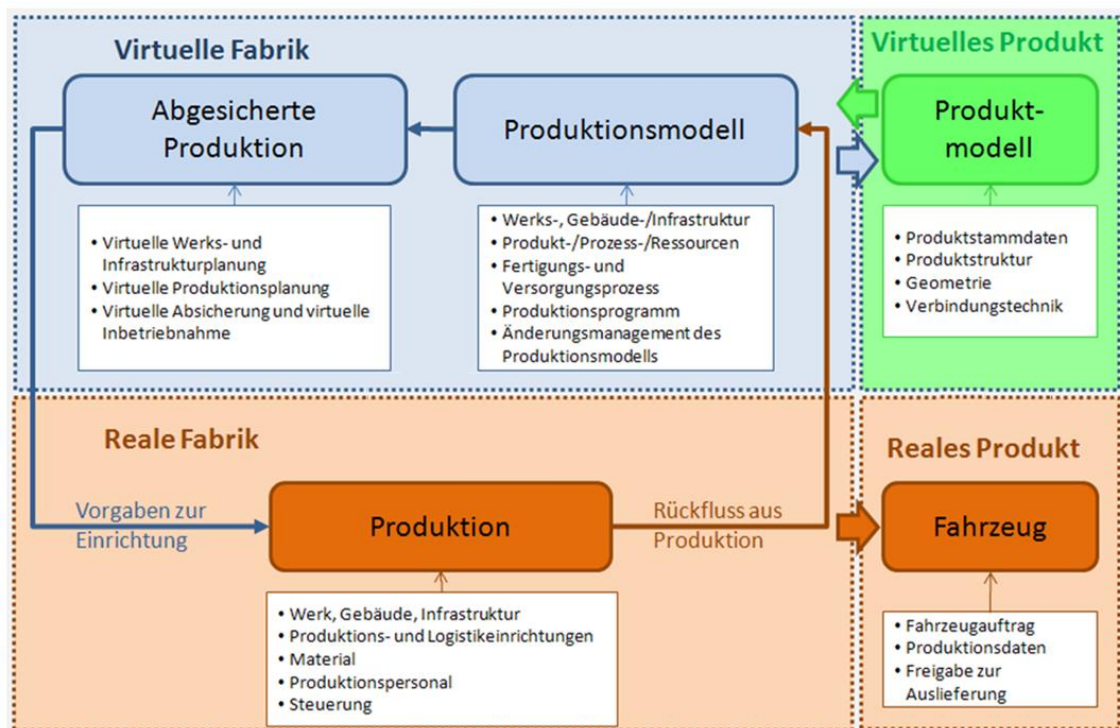


Abbildung 3: Grundkonzept der Digitalen Fabrik²⁰

²⁰ Vgl. SENGSTBRATL 2013, ICT for Green, IKT für energie- und ressourceneffizienten Prozess S. 176 (Präsentation S. 3 – Digitale Fabrik – Big Picture)

2.4 Nutzen der Digitalen Fabrik

„Der Kostenvorteil des Einsatzes der Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik (DF) für ein Unternehmen ist wie bei anderen ganzheitlichen Konzepten nur schwer zu ermitteln, da sich mehrere Einflüsse zu einer Gesamtwirkung zusammenfügen.“²¹

In der VDI-Richtlinie 4499 wurden die Zielgrößen der Digitalen Fabrik wie folgt zusammengefasst: [Hervorhebungen durch den Verfasser]²²

- **Wirtschaftlichkeit:** Kosten- und Zeitverbesserungen können durch eine größtmögliche Parallelisierung der einzelnen Planungstätigkeiten, die verbesserte interdisziplinäre Zusammenarbeit sowie redundanzfreie, aktuelle und richtige Daten erreicht werden.
- **Qualität:** Der Prozess der Produktionsplanung soll harmonisiert und optimiert werden, um dadurch die allgemeine Planungsqualität zu verbessern.
- **Kommunikation:** Die Integration aller an der Planung und am Betrieb der Produktion beteiligten Personen wird durch einheitliche, durchgängige und auch verfügbare Planungsdaten, durch die Überwindung räumlicher Grenzen sowie durch vollständige, aktuelle und verständliche Planungssachverhalte ermöglicht.
- **Standardisierung:** Der Planungsprozess selbst soll standardisiert werden, um für zukünftige Planungen so genannte Best-Practice-Lösungen zu eingesetzten Modellen und/oder Modellbausteinen sowie zu Projektergebnissen allgemein wiederverwenden zu können.
- **Wissenserwerb und -erhalt:** Die Digitale Fabrik schafft die Voraussetzungen für die Wiederverwendung von Planungswissen. Dadurch wird das Erreichen der Teilziele standardisierter Planungsprozesse, reduzierter Planungskosten und -zeiten, erhöhter Planungssicherheit und effizienter Mitarbeitereinarbeitung in die Planung unterstützt.

²¹ Bracht/Geckler/Wenzel 2011, Digitale Fabrik, S.51

²² SCHACK 2008, Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik, S. 18, zitiert nach VDI-RICHTLINIE 4499, 2006, S. 5 ff.

2.4.1 Nutzen der DF im Bereich Zeit / Qualität / Kosten

Die Planungs- und Produktionsprozesse eines produzierenden Unternehmens werden anhand der Digitalen Fabrik profitabel beeinflusst und generieren daraus einen Wettbewerbsvorteil. Bezogen auf die Automobilindustrie gelten folgende Gesichtspunkte als wertschöpfend für die Implementierung eines übergreifenden Systemkonzeptes.

- **Schnellere Produkteinführung**

- Eine schnellere Planung wird durch vertikale Prozessintegration und Lieferantenintegration ausführbar.
- Die Vermeidung von Planungsfehlern wird durch bessere Planungsabsicherungen ermöglicht.
- Ein schnellerer Produktionsanlauf bietet sich durch Reduzierung von Änderungsnotwendigkeiten im Aufbau und der Inbetriebnahme der Produktion.
- Virtuelle Schulungen können für die Produktion früher bereitgestellt werden.

- **Verbesserung der Produktqualität / Planungsqualität**

- Durch eine vertikale Prozessintegration wird ein Optimum der gesamtheitlichen Planung für alle beteiligten Bereiche, Rohbau, Lack, Montage und die Querschnittsfunktionen Logistik, Qualität, Werks- und Infrastrukturplanung, erzielt.
- Eine bessere Geometrieunterstützung für die Produktentwicklung wird durch frühere Kommunikation gewährleistet.
- Eine durchgängige Abbildung von Füge-, Geometrie- und Qualitätsdaten wird während des gesamten Produktentstehungsprozesses bereitgestellt.
- Die Einführung eines integrierten Datenmanagements (Produkt/ Prozess/ Ressourcen) wird mittels zentraler Datenhaltung erreicht.
- Ein frühzeitiges Erkennen von Auswirkungen der neuen Produktionsanlage auf die Peripherie (Tragwerk, Medienversorgung, Bodenaufbau usw.) ist schon vor dem Umbau erzielbar.
- Ein optimiertes Line Balancing kann auf Ist-Aufträge aufgebaut werden.

- **Senkung der Kosten**

- Die Planungskosten werden durch die Reduktion von Korrekturschleifen minimiert.
- Aufgrund schnellerer Aufbau- und Inbetriebnahme-Tätigkeiten werden die Investitionskosten erheblich gesenkt.
- Die virtuelle Absicherung ersetzt den Aufbau kostenaufwendiger Prototypenzellen.
- Durch übergreifendes Zusammenwirken der einzelnen Bereiche werden die Ablaufprozesse transparenter und der Genehmigungsprozess übersichtlicher.
- Bei der Übernahme und Anpassung von bestehenden Prozessen entstehen geringere Änderungskosten im Umbau, beziehungsweise Neubau.
- Eine Reduktion der Produktionsstillstandszeiten in der Serie ist ein weiterer Vorteil der virtuellen Absicherung.
- Infolge von Taktzeitsimulationen wird ein Optimierter Durchsatz, sowie eine bessere Auslastung der Anlage bewerkstelligt.

- **Transparenz durch durchgängiges Änderungsmanagement**

- Das Änderungsmanagement kann jederzeit auf Informationen von Produkt- und Ressourcenänderungen zugreifen und erreicht somit ein höheres Qualitätsniveau.

- **Permanente Verfügbarkeit der Aufbaureihenfolge für Untersuchungen**

- Die Digitale Montagebewertung (DMB) kann direkt auf die Fahrzeugstruktur aufgesetzt werden.
- Zugänglichkeitsprüfungen können bereits auf Basis von Vorfriegabeständen ausgeführt werden und daraus entstehende Korrekturbedarfe noch während der Entwicklungsphase eingelastet werden.

2.4.2 Nutzen der DF bei der Übergabe an den Betrieb

Mit dem Einsatz der DF wird einem Unternehmen ermöglicht beispielsweise Umbauten in einem kürzeren Umsetzungszeitraum zu realisieren, oder Produktintegration, wie auch Stückzahlsteigerungen während der laufenden Produktion abzusichern und umzusetzen. In Ergänzung dazu sollen mithilfe von neuen Schnittstellen und einheitlichen Systemarchitekturen auch interne Daten- und Informationsverluste vermieden werden, was sich auch durch nachfolgende Argumente bekräftigen lässt.

- **Keine Schnittstellenverluste bei der Übergabe (virtuelle Fabrik) an den Betrieb (reale Fabrik)**
 - Durch den Wechsel von einer manuellen- auf eine automatisierte Schnittstelle entstehen keine Informationsverluste durch Konvertierungsprozesse oder Implementierungsschwierigkeiten mehr.
 - Ressourcendaten und Lageinformationen werden mittels einem 3D-Layout in einem exakten Abbild der realen Fabrik bereitgestellt.
 - Prozess-, Anlagendokumentationen und Arbeitsanweisungen können direkt und automatisiert aus den Planungstools ausgeleitet werden.
 - Abnahmedokumente können schnell und einfach standardisiert durch die Unterstützung von Planungswerkzeugen zur Verfügung gestellt werden.
- **Standardisierter Informationsrückfluss vom Betrieb (reale Fabrik) in die virtuelle Fabrik**
 - Gleiche Daten- und Informationsstände der virtuellen und realen Fabrik werden angestrebt.
 - Prozessänderungen aus der Produktion, Logistik, oder dem Qualitätsmanagement werden automatisiert ins Planungssystem rückgemeldet.
 - Bei Ressourcenänderungen kann die Instandhaltung in der Auswahl, bzw. Absicherung der Ressourcen durch die Planung unterstützt werden.

2.5 Industrie 4.0

Die künftige Weiterentwicklung der Digitalen Fabrik wird mit den Ausdrücken Industrie 4.0, Smart Factory, oder Internet der Dinge bedeutsam gemacht. Hierbei werden zu den Umfängen der DF, welche eine Verbindung zwischen der realen Fabrik und einem virtuellen Abbild darstellt, in Erweiterung, auch die Faktoren Management und Organisation miteinbezogen. Zu den Kernthemen der DF, wie dem Produktfluss, dem Materialfluss und der Montage, werden die Einflussgrößen Strategie, Kompetenz und Entscheidungsmethoden ergänzt und sollen dadurch eine tragende Gewichtung im Gesamtkonzept erhalten.²³

Basierend auf der Implementierung und Vernetzung der Organisationsprozesse in die Planungssysteme soll gewährleistet werden, dass auf Grundlage des virtuellen Produktes und in weiterer Folge auf das reale Produkt, Projektvalidierungs- und Entscheidungsmethoden aufgesetzt werden können. Folglich profitieren Unternehmensbereiche wie das Angebotswesen, der technische Einkauf, das Projektmanagement u.v.m. welche bis dato nur auf Erfahrungswerte zurückgreifen konnten und zukünftig auf einer bestehenden Plattform effizienter, schneller und flexibler auf Projektanforderungen eingehen können. Ziel ist es, ab dem Projektstart bis hin zu EOP (End of Production) auf praxisgenerierte Werte aufsetzen zu können und mittels Planung und Meldungswesen in einer gemeinsamen Systemarchitektur den gesamten Produktentstehungsprozess abzuhandeln. Durch die Industrie 4.0 soll der Kreis des Produktionsprozesses geschlossen werden und den gesamten Prozessablauf auf planerischer, sowie auch auf operativer Ebene widerspiegeln.

Kritiker behaupten, die Industrie 4.0 sei nichts anderes als das CIM unter einem anderen Namen. Grundsätzlich bewahrheitet sich dies in gewisser Weise, da mit dem CIM die Grundsätze für den heutigen Entwicklungsstand geschaffen wurden. Jedoch ist unter Industrie 4.0 viel mehr zu verstehen, da sich seit der Entstehung des CIM der Automatisierungsgrad, die Organisationsprozesse, sowie auch die Systemgegebenheiten, soft- und hardwareseitig, aufgrund neuer Technologien und Rechnerleistungen erheblich geändert und erweitert haben.

²³ Vgl. Büttner 2014, Die digitale Fabrik entwickelt sich weiter in Richtung Industrie 4.0, S.7

2.5.1 Die vierte industrielle Revolution

Die Industrie 4.0 wird unter Sozial- und Wirtschaftswissenschaftlern auch gerne als die vierte industrielle Revolution bezeichnet. Die historische Entwicklung der industriellen Revolutionen zeigt sich sehr gut in Abbildung 4, der von der „Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft“ entwickelten Übersicht.

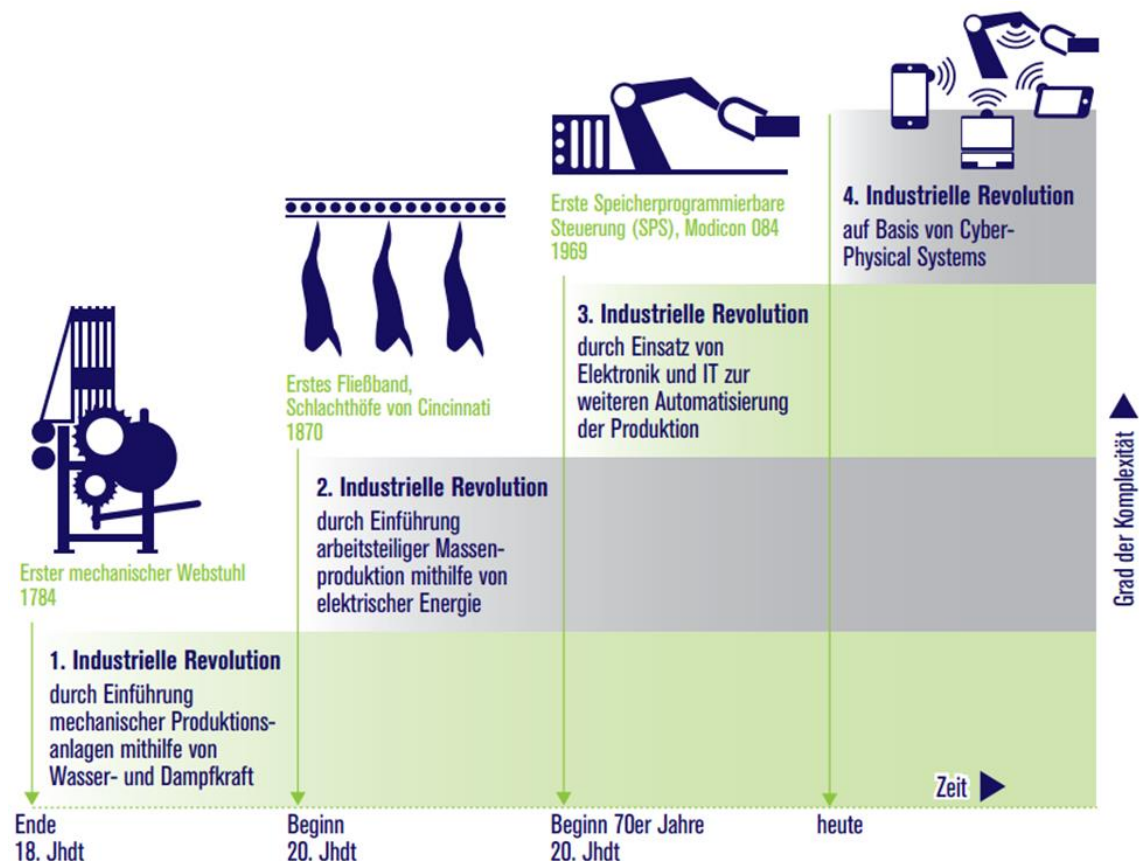


Abbildung 4: Die vier Stufen der Industriellen Revolution²⁴

Seit der Mitte des 18. Jhdt. wird der Begriff „Industrielle Revolution“ für die Bezeichnung von tiefgreifenden und dauerhaften Umgestaltungen von wirtschaftlichen und sozialen Verhältnissen, Arbeitsbedingungen und Lebensumständen verwendet, die zum Übergang in Agrar- und Industriegesellschaften geführt hat.²⁵

²⁴ Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft 2013, S.17, zitiert nach DKFI 2011

²⁵ Vgl. SENDLER 2013, Industrie 4.0, S. 6

Die zweite industrielle Revolution steht für die historischen Umbrüche in Wirtschaft, Produktion und Arbeit, die zu Beginn des 20. Jhdt. durch die intensive Mechanisierung, dem weit verbreiten Gebrauch von Elektrizität und der Einführung der Massenproduktion von Gütern (Taylorismus und Fordismus) hervorgerufen wurde.²⁶

„Als dritte industrielle Revolution gilt der radikale Fortschritt in der Automatisierung von Produkten und Produktion durch den Einsatz der speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) ab der Mitte der Siebzigerjahre.“²⁷

Als vierte industrielle Revolution wird die gerade beginnende Umbruchsphase bezeichnet, in welcher erstmals versucht wird, intelligente Handlungen des Menschen durch maschinengesteuerte Aktionen zu ersetzen. Durch eine bedeutende Verbesserung der Kommunikationssysteme in den nächsten Jahren sollte es möglich sein, Produkten und ihren verbundenen Objekten eine Identität zuzuweisen, welche ihre Umwelt anhand von Sensoren erfassen und somit ihren Lebenslauf festhalten können. Unter diesem Ausgangspunkt können detailliertere Informationen über den Nutzen und den Lebenszyklus der Produkte gesammelt und noch während ihres Einsatzes ausgetauscht werden. In weiterer Hinsicht verfügen auch die automatisierten Produktionszellen über den Vorteil, mit besseren Konfigurationen versorgt zu werden und können dementsprechend mithilfe von Aktoren zunehmend auf ihre Umwelt einwirken.²⁸

Der Begriff „Revolution“ wird jedoch von einigen Forschern und Wissenschaftlern in Frage gestellt, da es sich bei der Entwicklung der Industrie 4.0 aus ihrer Sicht eher um eine „Evolution“ handelt. Aufgesetzt auf die Tatsache, dass die Umwälzung nicht in kurzer Zeit vonstattengehen wird und die Technologieelemente wie Software, Elektronik und Sensorik bereits seit der dritten Revolution existent sind. Fakt ist aber, dass jede der einzelnen Revolutionen Jahrzehnte für ihre Umsetzung benötigte und die Industrie, abgesehen von der Definition, einzig und alleine an der Vorgehensweise zur Umsetzung interessiert ist.²⁹

²⁶ Vgl. SENDLER 2013, Industrie 4.0, S. 6

²⁷ SENDLER 2013, Industrie 4.0, S. 6

²⁸ HÄRTING/SCHMIDT/MÖHRING/REICHSTEIN/NEUMAIER/JOZINOVIC 2015, Nutzenpotenziale von Industrie 4.0, S. 9

²⁹ Vgl. SENDLER 2013, Industrie 4.0, S. 7 f.

2.5.2 Herausforderung für den Automobilbau

Durch die gravierende Veränderung der Marktereignisse und dem Wandel von einem Verkäufermarkt zu einem Käufermarkt, muss auch die Automobilindustrie ihre Strategien auf die geänderten Nachfragebedürfnisse anpassen. Individuellen Kundenwünschen und dem steigenden Konkurrenzdruck können die produzierenden Firmen nur mit Produktivitätssteigerungen durch Innovationen entgegenwirken. Die Modularisierung von Fertigungsabläufen, sowie auch die Herstellung von ausgeweiteten Produktpaletten zu geringeren Einzelserienstückzahlen sind gefordert und kann nur aufgrund eines Höchstmaßes an Flexibilität und durch leistbare Individualisierung umgesetzt werden. Durch das Aufkommen einer immer vielfältigeren Derivatfertigung, der Variantenvielfalt und der auslieferungsbezogenen Länderspezifika je Modell und Plattform sind kostengünstige Bereitstellungen von Funktionalitäten und Fertigungsprozessen für die Fahrzeugproduktion unumgänglich.

Die Industrie 4.0 hat das Ziel anhand folgender Handlungsfelder die Teilekosten zu senken und mit dem damit verbundenen Kundenmehrwert einen Vorzug für die Unternehmen zu schaffen:

- Durchgängige Qualitätssteuerung über den gesamten Fertigungsprozess
- Intelligenter Produktzusammenbau durch logikoperierende Fertigungsprozesse
- Ein durchgängige Variantenplanung und –steuerung
- Intelligente Logistik, „Big-Data Warenfluss“
- Präventive Anlagenwartungen, Instandhaltung inklusive einer Zustandsüberwachung der Produktionsanlagen
- Intelligente Teilefertigung und ein aktives Ressourcenmanagement

Bei der Implementierung einer sogenannten agilen Produktion sollen in der Fahrzeugfertigung intelligente Objekte wie Produkte, Anlagen und Produktionsabschnitte miteinander vernetzt werden und durch autonome, situationsbezogene und selbstorganisierte Produktionsprozesse gesteuert werden.

3 Prozessmanagement in Fahrzeugentwicklungsorganisationen

„Prozessmanagement hat eine hohe Bedeutung bei der Erreichung von strategischen und operativen Zielen eines Unternehmens. Es gilt, die Effektivität auf der einen Seite und die Effizienz des Unternehmens auf der anderen Seite zu erhöhen, damit der Unternehmenswert insgesamt gesteigert werden kann.“³⁰

Das Prozessmanagement ist dabei mit der Unternehmensstrategie, als Prozessidentifikation und Zielausrichtung, und der Kundenorientierung für die Sicherstellung der Effektivität und der Effizienz verbunden, wodurch es sich in erster Linie mit der Ausrichtung der Prozesse auf die Unternehmensstrategie, der Definition von wertschöpfenden Prozessen und den zu erreichenden Zielen auseinandersetzt. Diese definierten Prozesse werden darauffolgend in der Prozessgestaltung detailliert entworfen, modelliert und in sehr vielen Fällen auch dokumentiert. Anschließend können sie hinsichtlich ihrer Zielerreichung bewertet und gegebenenfalls harmonisiert, oder standardisiert werden. Als wichtigste, sowie auch als schwierigste Aufgabe des Prozessmanagements zählt jedoch neben der Prozessgestaltung, die Anpassung einer gegebenen Organisationsstruktur auf eine neue Prozessstruktur.³¹

Der unter Edmund Heinen definierte entscheidungstheoretische Ansatz besagt, dass in seinem entscheidungsorientierten BWL-Konzept die betriebswirtschaftlichen Probleme als Entscheidungsprobleme zu analysieren sind, dabei referenziert er sich auf den faktortheoretischen Ansatz Gutenbergs und bringt ihn mit den betrieblichen Entscheidungsprozessen in Verbindung.³² Somit kann der Produktionsentstehungsprozess als Schwerpunkt der Leistungserstellung eines produktiven Unternehmens angesehen werden. Anhand der in der BWL angesiedelten Methoden und Instrumente, können Prozesse und Verfahren vorab analysiert und bewertet werden und dementsprechende Lösungsalternativen ausgearbeitet werden.

³⁰ JOCHEM 2010, Prozessmanagement, S. 14

³¹ Vgl. JOCHEM 2010, Prozessmanagement, S. 15 f.

³² Vgl. STÖTZER 2009, Stakeholder Performance Reporting von Nonprofit-Organisationen, S. 350 f., sowie der dort angegebenen Literatur HEINEN E. 1971: Der entscheidungstheoretische Ansatz der Betriebswirtschaftslehre S. 429 ff.

3.1 Grundlagen der Entwicklungsprozesse

In der heutigen Automobilentwicklung werden zur strategischen Ausführung von Fahrzeugprojekten entwicklungsorientierte Organisationseinheiten eingesetzt, welche die Mission des Produktentstehungsprozesses (PEP) unternehmenskonform umsetzen. Der PEP beschreibt alle Arbeitsabläufe von der Produktidee eines neuen Produktes, bis hin zu dessen Herstellung und Verkauf. Die Arbeitsabläufe in der Automobilindustrie umfassen sehr unterschiedliche Fachdisziplinen und Phasen, die mit diversen, spezifizierten Ausprägungen umgesetzt werden. Letztendlich wird durch den Produktentstehungsprozess definiert, was bis wann zu tun ist und wer für die Umsetzung verantwortlich ist.

Grundlegend trägt ein aktiv eingesetzter PEP wesentlich zum Unternehmenserfolg bei, welcher folgende Punkte als Ziel hat:

- Verbesserung der Profitabilität
- Erfüllung der Kundenwünsche
- Sicherstellung der Produktivität
- Sicherstellung der Standardisierung und der Ablaufreihenfolgen

Mittels dieser genannten Schwerpunkte können Vorteile gegenüber konkurrierenden Unternehmen generiert werden, da es dem Unternehmen eine schnellere Orientierung auf Neuprojekte ermöglicht und in Ergänzung dazu international festgelegte Standards, sowie gesetzliche und behördliche Bestimmungen anwendbar macht.

Verantwortlich für die Einhaltung und Realisierung der durch das PEP definierten Abläufe und Methoden sind projektinterne, miteinander kooperierende Bereiche. Dafür eingesetzt wird das Produktdatenmanagement, um die CAD-Strukturen zu verwalten und fahrzeugspezifische Prozesse zu deklarieren, das Stücklisten- und Freigabemanagement, um alle im Fahrzeug verwendeten Komponenten zu listen und für die Lieferantenplanung zu steuern, sowie auch das Virtuelle Fahrzeug, welches sich primär auf die Stimmigkeit der einzelnen Komponenten im Fahrzeug und in weiterer Folge auch auf die Einhaltung von Normen und Maßtoleranzen für eine positive Homologation konzentriert.

3.1.1 Produkt Datenmanagement (PDM)

Das Produktdatenmanagement beschäftigt sich mit der Speicherung und Verwaltung von Daten und Dokumenten, um sie zu späteren Zeitpunkten eines Projektes als Referenz für die Produktion eines Fahrzeugs bereitstellen zu können. Des Weiteren dient es auch zur Unterstützung der Produktentwicklung, anhand der dafür eingesetzten Methoden und Prozessmodelle.³³

Die Produktdatenmanagementsysteme sind ein Teil einer innerbetrieblichen Koordinations- und Informationskette, welche Programmschnittstellen zu Organisationsprogrammen, sowie auch zu CAD-Oberflächen beinhalten. CAD-Systeme können in dieser Hinsicht als Hauptaufgabengebiet des Produktdatenmanagements angesehen werden, da es ursprünglich ohne dies Organisationseinheit immer wieder Probleme bei der Verwendung und Verwaltung von CAD-Modellen und Zeichnungsdaten gab. Über entwickelte Systemschnittstellen wird ermöglicht, dass die einzelnen CAD-Konstruktionsprogramme miteinander kommunizieren können und zusätzlich werden durch bereitgestellte Konvertierungsverfahren die von den anderen Systemen erzeugten Datenstände über Datenverwaltungsserver allgemein lesbar und verwendbar gemacht.

Die Einführung des Datenmanagements hat zum Ziel die Datenqualität zu erhöhen und im gleichen Zuge den Kosten- und Zeitaufwand für die Produktentwicklung zu minimieren.

Der große Vorteil eines aktiv angewandten Produktdatenmanagements liegt darin, dass durch einen konstanten Informationsfluss die Kommunikation mit den Kunden, beziehungsweise mit den Lieferanten verbessert wird und somit eine lückenlose Arbeitsweise gewährleistet ist.

³³ Vgl. EIGNER/STELZER 2009, Produktdatenmanagement-Systeme, S.31 f.

3.1.2 Stücklisten- und Freigabemanagement (E-BOM)

Unter dem Begriff Stücklistenmanagement, im englischen Bill of Materials (BOM) genannt, oder auch EBOM für Engineering BOM, versteht man die strukturierte Koordination und Anordnung von Fahrzeugkomponenten aus Einzelteilen und in höheren Strukturstufen als Zusammenbauten, die das entwickelte Produkt durch seine Entwicklungsart definiert.

Die strukturierte Anordnung von Einzelbauteilen in ihren übergeordneten Baugruppen erfolgt anhand einer Materialstückliste. Die in den Strukturstücklisten enthaltenen Informationen, welche sich durch die einzelnen Rohstoffe der Erzeugnisse unterscheiden, werden in tabellarischer Form aufgebaut und spiegeln die gesamten Fertigungsstufen wider.

Eine Entwicklungsstückliste unterscheidet sich zur Materialstückliste dahingehend, dass nicht der strukturelle Aufbau berücksichtigt wird, sondern die Struktur anhand des Anwendungszweckes, beziehungsweise des Einsatzgebietes aufgebaut wird. In diesem Fall werden produktbezogene Stücklisteninformationen mehrfach gespeichert, um bei komplexen Produkten in der Produktion einen Verwendungsnachweis generieren lassen zu können.³⁴

Das Stücklistenmanagement zählt zu den wichtigsten Datenträgern eines Fahrzeugprojektes, da es alle produktionsrelevanten Informationen für die Herstellung der Produkte beinhaltet und somit für Fertigungsunternehmen unumgänglich ist.

Zu diesen produktionsrelevanten Informationen zählen zum Beispiel die Merkmale des zu verwendeten Materials, welches zum Fertigen eines gewissen Produktes verwendet werden muss, wie auch in weiterer Folge die genaue Anzahl der benötigten Einzelteile, um eine Baugruppen zusammenstellen zu können.

³⁴ Vgl. GRUPP 1976, Integrierte Datenverarbeitung in der Praxis, S. 17 f.

3.1.3 Virtuelles Fahrzeug (DMU)

Mit dem Aufgabengebiet des virtuellen Fahrzeugs, englisch Digital Mock-Up (DMU) genannt, wird mittels eines digitalen Fahrzeugmodells durch eine Computersimulation versucht, Kollisionsanalysen an Einzelbauteile und Baugruppen im Fahrzeug zu analysieren und somit einen Großteil der sehr teuren Produktprüfungen an Prototypen zu ersetzen.

Durch den frühen Einsatz von virtuellen Bauraumuntersuchungen und Simulationen in der Produktentwicklung ist es in der Automobilindustrie gelungen, in den letzten Jahren den Einsatz von kostspieligen Prototypen zu halbieren. In weiterer Folge ist es durch die DMU möglich, auf Basis von gemeinsamen Plattformen, die Konstruktion zu unterstützen und somit die modularen Entwicklungssysteme zu fördern.³⁵

In einer erweiterten Form des DMU können mittels Montagesimulation schon während der Konstruktionsphase verschiedenste Montagevarianten erarbeitet werden. Durch starke Zusammenarbeit zwischen Konstruktion und Produktion kann der Konstruktionsprozess verstärkt werden und durch kontinuierliche Überprüfungen die Durchlaufzeit verringert und gleichzeitig die Qualität erhöht werden.

³⁵ Scholz/Burkhardt/Dietrich, Digital Mock-Up in der Produktentwicklung, S. 1 f.

3.2 Ist Situation Entwicklung

In der aktuellen Fahrzeugprojektsituation werden die beiden Organisationsgruppen Strukturdatenmanagement und Stücklistenmanagement zur Datenverwaltung und -strukturierung eingesetzt. Jedes produzierte Fahrzeug, mit all seinen Varianten und Ausführungen, findet seinen Ursprung in der Entwicklung wieder, die somit der Grundstein eines jeden Automobils ist. Die Fahrzeugentwicklung besteht heutzutage darin, das Gesamtfahrzeug in mehrere Module zu unterteilen, um somit durch geteilte Fachbereiche bei technischen Problemstellungen zielgerichtet und koordiniert eingreifen zu können. Aufgrund dessen soll die Qualität des Fahrzeuges erhöht werden und gleichzeitig durch Verantwortungsaufteilung die Entwicklungszeit verkürzt werden.

Ein aktuelles Problem dieser Organisation spiegelt sich in der Ausleitung ihrer Daten wider. So wie in der Abbildung 5 erkenntlich wird, müssen bei Datentransfers für die Produktionsplanung aufwendige und mit Informationsverlusten behaftete Konvertierungsprozesse angewandt werden, um die Daten für die Anforderungen des Produktionsmodells manuell zusammenführen zu können. Dieser aktuell gelebte Prozess bringt sehr viele Komplikationen und kosten-, wie auch zeitintensive Anpassungen mit sich, welche aufgebracht werden müssen, um die Produktionsplanung darauf aufzusetzen zu können. Um den Prozess optimieren zu können, wird in der Entwicklung eine Vereinheitlichung gefordert.

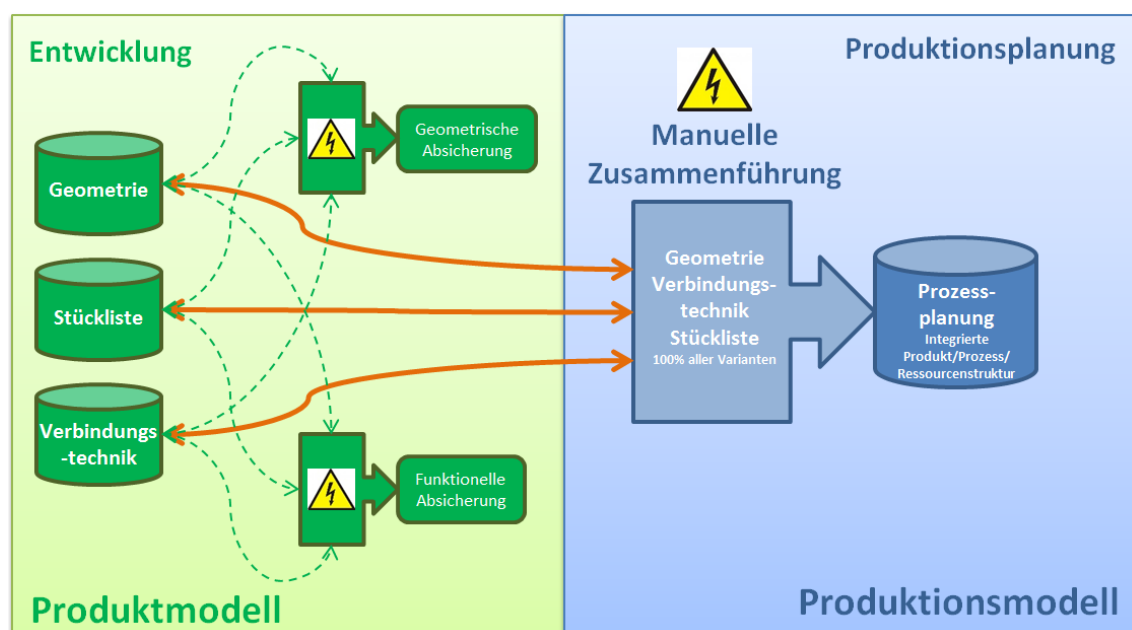


Abbildung 5: Ist-Situation Datenaustausch Entwicklung-Produktionsplanung

3.2.1 Strukturdatenmanagement

Die CAD-Struktur wird derzeit in einem von der Firma Siemens bereitgestellten Product- Lifecycle Management (PLM) System, genannt Team Center (TC), aufgebaut und verwaltet.

Das Programm Team Center verfügt über sehr viele spezifische Entwicklungstools, die für die Verwendung von Standards und Normen in Konstruktionsprozessen benötigt werden. Weitere Anwendungsgebiete finden sich im Struktur- und Datenmanagement, sowie auch im Bereich des virtuellen Fahrzeugs wieder, um CAD-Strukturen steuerbar zu machen und um in weiterer Folge auch Vergleichsmöglichkeiten zu schaffen. Mittels Rot-Grün Vergleichen von 2 verschiedenen Varianten eines Bauteiles ist es somit möglich, sehr schnell Veränderungen und Anpassungen erkennen zu können und zur selben Zeit bewertbar zu machen.

Sehr wichtig sind auch die Schnittstellen der Systemoberflächen zu den vielen variierenden Konstruktionsprogrammen (NX, Catia, AutoCAD, Inventor), da somit die Möglichkeit geschaffen werden soll, nur ein Datenverwaltungsprogramm in allen Projekten einzusetzen und gleichzeitig die vom Kunden priorisierten Konstruktionsprogramme ohne Konvertierungsarbeiten einbinden zu können.

Die Anforderungen von Kundenexporten, beziehungsweise Lieferantenexporten werden durch mehrere Ausleitungsformate vom TC unterstützt. Dadurch ist es möglich, je nach Anforderung des Lieferanten, Kunden oder der internen Funktionsbereiche, die geforderten Formate direkt aus dem System bereitstellen zu können und gleichzeitig lange Konvertierungszeiten zu vermeiden.

In dieser auf CAD-Daten basierenden Datenbank ist es möglich eine komplette Fahrzeugstruktur mittels eines Struktur-Managers aufzubauen, womit auch Strukturstufen von Bestellbaugruppen, sowie auch After-Sales Bauteile berücksichtigt werden können. Somit ist es möglich den aktuellen Entwicklungsstatus zu visualisieren, beziehungsweise jeden einzelnen, vergangenen Projektmeilenstein mit den dortigen Entwicklungsständen zu exportieren um Projektfortschritte vergleichbar zu machen, sowie gegebenenfalls Prototypenstände zu ergänzen.

3.2.2 Stücklistenmanagement

Das Stücklisten- und Freigabemanagement verwaltet und steuert das gesamte Fahrzeug, basierend auf allen Bauteilen und Baugruppen, die in Form einer tabellarischen Struktur aufgebaut werden und alle produktions- und fertigungsrelevanten Informationen beinhalten.

Die Bill of Materials (BOM) dient dazu, Informationen über das zu verwendete Fertigungsmaterial, oder die Anzahl von Einzelbauteilen in einer Baugruppe zu entnehmen.

Diese enthaltenen Informationen werden für eine Produktionsplanung benötigt und werden infolge als Basis für die Prozesskostenrechnung herangezogen, um die daraus resultierenden Gesamtproduktionskosten zu ermitteln.

Als Verwaltungsprogramm wird ein Information Chain Management Programm (ICM) angewandt, welches dazu dient die Informationsflüsse anhand einer Wertschöpfungskette zwischen Mitarbeitern, Lieferanten und Kunden zu sichern und für einen permanenten Informationsfluss zu sorgen.³⁶

Im ICM wird die gesamte Fahrzeugstückliste gepflegt und relevante Informationen für die Freigabe von Bauteilen für die Produktion dokumentiert. Der Vorteil besteht darin, dass Mitarbeiter, Kunden und Lieferanten über ein System zur selben Zeit informiert werden können, und somit Verzögerungen beziehungsweise Missverständnisse bezüglich falscher Dateninformationen, oder unterschiedlicher Entwicklungsstände minimiert werden und bestenfalls nicht existent sind.

³⁶ Vgl. <http://www.information-chain-management.de> (Stand 20.05.2015)

4 Prozessmanagement in Produktionsorganisationen

„Einer der wesentlichen Stellhebel, um Strategien umzusetzen, ist der Weg über die Prozesse innerhalb eines Unternehmens! Das Denken in Prozessen ermöglicht ... die rasche und zielgerichtete Identifikation von Optimierungspotentialen innerhalb des Unternehmens. Die Fähigkeit, Prozesse zu reorganisieren, ist dementsprechend auch innerhalb von Ansätzen zur Operativen Exzellenz ... zentral.“³⁷

Das Prozessmanagement trägt somit die gesamte Verantwortung für einen vollumfänglichen Prozessablauf, in dem sich Produktionsorganisationen übergreifend aus mehreren Bereichen zusammensetzen. Zu den Hauptaufgaben zählen die Verwaltung von Prozess- und Ablaufsteuerungen, sowie auch die Verantwortung für die Produktionsplanungsbereiche, welche die virtuellen Absicherungen der Produktionsanlagen beinhalten. Die festgelegten Prozessstrukturen sind ausschlaggebend für die Realisierung der Produktfertigungen und in weiterer Hinsicht die Auswahl der einzusetzenden Ressourcen. Dies wird in Anlagenplanungsprozessen konkretisiert, in denen die operativen Abhandlungen einer Projektumsetzung getätigt werden.

„Die Bedeutung der Prozessorientierung im Zusammenhang mit einer Flexibilisierung ist darin zu sehen, dass diese hilft, den Blick vom Tagesgeschäft weg und hin zu Gesamtzusammenhängen zu richten. Eine Vielzahl operativer Inseln ... steht nicht länger einer Lösung, die für den Gesamtprozess optimal wäre, im Wege.“³⁸ So sollte die Denkungsweise in den Unternehmen auf den Gesamtprozess gerichtet werden, um bei Entscheidungen den Anforderungen vieler, bis aller Bereiche gerecht zu werden. Ein einheitliches Prozessmanagement sollte in den Unternehmen angestrebt werden, um flexible, schnelle und durchgängige Prozessstrukturen im Produktionsbereich umsetzen zu können. Gefordert wird ein standardisiertes und wiederherstellbares Prozessmanagement, das in Neuprojekten integriert und ohne Verzögerung eingesetzt werden kann.

³⁷ FRIEDLI/SCHUH 2012, Wettbewerbsfähigkeit der Produktion an Hochlohnstandorten, S. 153

³⁸ FRIEDLI/SCHUH 2012, Wettbewerbsfähigkeit der Produktion an Hochlohnstandorten, S. 154

4.1 Grundlagen der Produktionsprozesse

Die in der Entwicklung erzeugten Produktdaten werden als Gesamtfahrzeug, mit all den enthaltenen Varianten, als EBOM zur Verfügung gestellt und im ersten Schritt in eine MBOM umgewandelt. Dies dient dazu, aus der modulatorientierten Entwicklungsstückliste eine Produktionsfügefolge aufzubauen, damit im nächsten Schritt die Prozesse und Ablaufplanungen darauf aufgesetzt werden können.

Grundlegend für die Ausrichtung der Produktionslinien und der Auslegung der einzelnen Stationen wird ein geometrisches Hallenlayout herangezogen, um die geographischen Abgrenzung als Basis verwenden zu können. Auf dieser Plattform werden die Arbeitsumfänge der einzelnen Stationen definiert und Gliederungen der Fertigungsprozesse erstellt. Hierzu werden in der Layoutplanung anfangs die Gegebenheiten der Standortsituationen erfasst und ein möglicher Umsetzungsort für die Realisierung des Projektes gewählt. Wurde diese Entscheidung getroffen, wird zusammen mit den Produktionsplanungsbereichen ein Hallenlayout entworfen, welches bereits die angedachten Produktionslinien beinhaltet.

Die Prozessplanung generiert auf Basis der MBOM einen fügefolgebezogenen Produktionsprozess und definiert in Verbindung mit der Anlagenplanung die Umfänge der einzelnen Stationen.

Durch die SE-Planung (Simultaneous Engineering) werden darauf aufbauend Zugänglichkeitsuntersuchungen durchgeführt, welche an die Entwicklung rückgemeldet werden, um die Fertigungsgüte der konstruierten Bauteile bekannt zu geben und eventuelle Änderungsanforderung zu kommunizieren. Durch die permanenten Abstimmungen mit den Entwicklungsverantwortlichen können somit sehr früh fertigungsrelevante Entscheidungen getroffen werden.

Nach der Einteilung der Stationen, werden durch die Produktionsplanung die Ressourcenauswahlen getroffen. Darunter fallen alle produktionsrelevanten Geräte, die für eine vollständige Produktfertigung benötigt werden, sowie die Anschaffungen von z.B. neuen Verbindungstechnologien, Förderungssysteme, Roboterkomponenten und der zu verwendenden Peripheriekomponenten.

4.1.1 Methoden- und Datenmanagement

Für die eingesetzten Planungssysteme müssen Methodenvorgaben und Verhaltensmodelle entwickelt werden, um einen standardisierten Prozessablauf zu gewährleisten. In diesem Bereich werden angefangen von den Produktdatenversorgungsprozessen, bis hin zu den einzelnen Abarbeitungsszenarien, Vorgehensweisen definiert, an die sich die verschiedenen Projektteams halten müssen.

Die Produktdaten werden je nach den eingesetzten Konstruktionsprogrammen in unterschiedlichen Formaten bereitgestellt. Das Datenmanagement ist dafür verantwortlich einen Konvertierungsprozess zu entwickeln, der nicht nur alle benötigten produktionsrelevanten Informationen bei der Erstversorgung der Daten im Planungssystem bereitstellt, sondern auch für zukünftige Datenversorgungen, bei diversen Meilensteinen, eine Referenzversorgung ermöglicht. Bei einer Referenzversorgung handelt es sich um einen neuen Entwicklungsdatenstand, in dem nur gewisse Bereiche weiterentwickelt wurden. Ziel ist es somit der Produktionsplanung nicht erneut eine gesamte Fahrzeugstruktur zur Verfügung zu stellen, sondern nur die spezifischen Umfänge ins System zu importieren und dabei die nichtveränderten Daten nicht zu überschreiben. Die Planer müssen somit nur die neu entwickelten Umfänge in ihre Struktur übernehmen und bewerten.

Das Methodenmanagement beschäftigt sich hingegen während der Projektentstehungsphase mit der Abklärung der Informationsflüsse aus dem Entwicklungs- und Produktionsbereich und der weiteren Vorgehensweise zur Implementierung der Daten in die Planungssysteme.

Zu den Methodenvorgaben zählt einerseits die Auswahl von einzusetzenden Systemen, welche den kompletten Planungsbedarf ermöglichen sollen, und andererseits auch die spezifischen Systemvorgaben, wie zum Beispiel die zu verwendenden Datenmodelle, oder der Aufbau der Prozess- und Ressourcenstrukturen, um einen standardisierten und rekonstruierbaren Ablauf des Projektes zu sichern.

4.1.2 Manufacturing BOM (M-BOM)

Die Manufacturing Bill of Materials (MBOM) ist eine Ableitung der Entwicklungsstückliste. Entgegengesetzt zur EBOM ist sie nicht in Abhängigkeit zu den Entwicklungsstufen eines Produktes organisiert, sondern ist in der Reihenfolge wie ein Produkt produziert wird aufgebaut. Die sogenannte Fügefolge gibt Aufschluss über die Bauteilreihenfolge, die eingehalten werden muss, um die Zusammenbauten fertigen zu können und ist grundlegend für den darauf aufbauenden Produktionsprozess. In der MBOM werden die Bauteile mit den Produktionsspezifika verknüpft und Material-, sowie auch Fertigungsinformationen werden angeführt, die in Produktionsplanung für die Auswahl von Fertigungsverfahren benötigt werden.

Anhand der MBOM wird das Fahrzeug in Produktionsmodule gegliedert und die Umfänge der einzelnen Produktionsstationen werden daraus abgeleitet. Das setzt voraus, dass in der MBOM nicht nur die Fahrzeugkomponenten und Zusammenbauten enthalten sind, sondern auch die Flüssigkeiten und Verbindungsmaterialien darin abgebildet werden. Im Unterschied zur EBOM müssen auch Elektronikbauteile und -steuerungen in jeder einzeln zu verwendenden Ausführung separat gegliedert sein. Dies ist aus dem Grund erforderlich, da in der Entwicklung zum Beispiel Softwareboxen in der EBOM nur einmal angeführt sind, da die Geometrie der Hardware bei mehreren Ausführungsvarianten gleich konstruiert ist, jedoch für die Produktion je nach Variante ein unterschiedliches Bauteil mit den verschiedenen Softwareständen geliefert und verbaut werden muss.

In Verbindung mit dem Produktionsprozess referenziert auch die Logistikplanung auf die MBOM, um den Materialfluss für die Fertigungsprozesse zu gewährleisten. Unter der Prämisse einer vollständig strukturierten MBOM werden für den Warenfluss alle Auskünfte über spezifische Bauteile, deren Fertigungszeiten und Stückzahlen bereitgestellt.

4.1.3 Ressourcen und Prozesse

Das Planungssystem Process Designer / Process Simulate bietet die Möglichkeit rechnergestützt eine virtuelle Fabrik in einem Planungsmodell aufzubauen. Dieses Planungsmodell setzt sich aus den Bauteilkomponenten des Produktes, den Fertigungswerkzeugen der Produktion und den Fertigungsprozessen, die zur Erzeugung des Produktes benötigt werden, zusammen.

In diesem Produktionsplanungssystem werden CAD-Modelle für den Aufbau der virtuellen Fabrik verwendet. Diese entsprechen den geometrischen Gegebenheiten, der in der realen Produktion eingesetzten Werkzeuge und Vorrichtungen. In diesen CAD-Ressourcenmodellen werden anhand von Modellierungsrichtlinien und praxiserrechneten Werten Bewegungsinformationen hinzugefügt, welche für eine Ablaufsimulation benötigt werden.

Der gesamte Fertigungsprozess wird in Prozessstrukturen aufgebaut und alle produktionsrelevanten Informationen werden dort abgebildet. Diese Prozessbäume werden auf Basis der MBOM erstellt und spiegeln die Fügefolge des Produktes wider. Für jeden einzelnen Arbeitsgang wird ein eigener Unterprozess angelegt, der die Bauteile, die in diesem Arbeitsgang gefertigt werden, mit den dazu verwendeten Ressourcen verbindet. Die Arbeitsgänge können als manuelle, oder als automatisierte Tätigkeiten ausgelegt werden und beinhalten neben den Arbeitsanweisungen für die Werker auch detaillierte Informationen, beispielsweise welches Werkzeug für welche Tätigkeit verwendet werden muss und welche Taktzeiten für die Tätigkeiten eingehalten werden müssen. Zusätzlich werden für die Qualitätsuntersuchungen Prüfbestimmungen für die fertigungskritischen Fügeprozesse hinterlegt.

Ausschlaggebend für die Planungsqualität ist ein gut strukturierter Prozessbaum. Wenn hier fertigungsrelevante Informationen nicht ordnungsgemäß dokumentiert und eingearbeitet werden, kann das gravierende Folgen für die Planungsprozesse, sowie auch bei der Umsetzung in der realen Produktion bedeuten.

4.1.4 Simulationsmodell

Für die virtuelle Absicherung der Produktionsprozesse werden Simulationsmodelle herangezogen, in denen jeder einzelne Arbeitsgang simuliert und eine Funktionsfähigkeit der geplanten Prozesse überprüft werden kann.

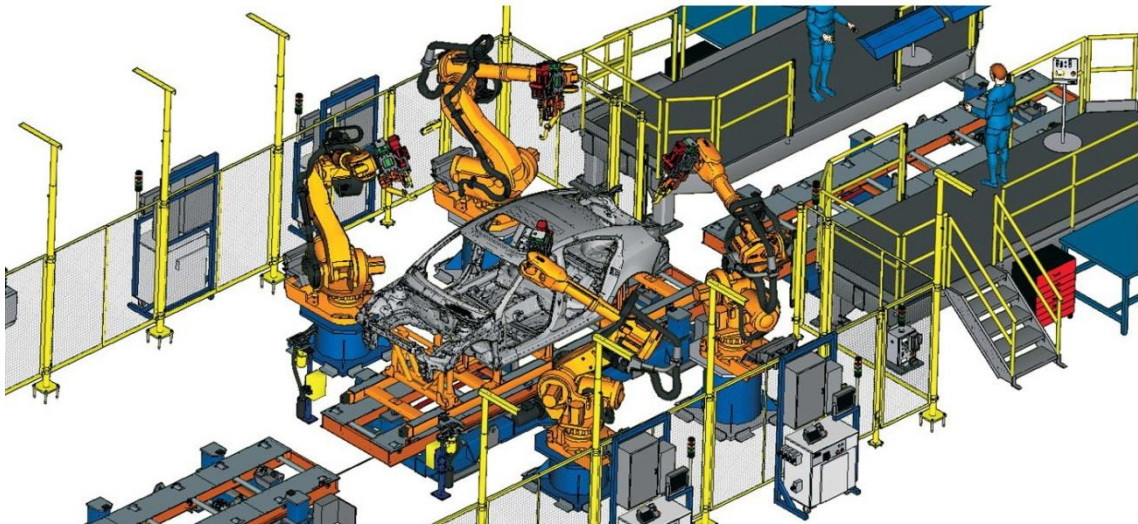


Abbildung 6: Simulationsmodell für virtuelle Absicherung³⁹

Wie in der Abbildung 6 ersichtlich ist, bestehen diese Simulationsmodelle aus einem virtuellen Abbild der realen Produktion. Automatisierte Prozesse können durch kinematisierte Robotermodelle erstellt werden, wobei auf die Maschinendaten und Beschleunigungswerte der realen Roboter referenziert wird. Abgesehen vom Erstellen von Roboterpfaden sind auch Kollisionsüberprüfungen mit Störkonturen, oder die Absicherungen der Zellen ein Hauptanwendungsgebiet.

Manuelle Tätigkeiten von Werkern können unter Berücksichtigung von Ergonomierichtlinien und MTM (Methods-Time Measurement) -Vorgaben ausgelegt werden, wodurch sich die Zumutbarkeit der geplanten Tätigkeiten leichter überprüfen lässt.

Der Automatisierungsgrad von Fertigungslinien wird durch neue Technologien und Einsatzgebiete immer komplexer. Ohne virtuelle Simulationsmodelle wären diese Anlagen nicht mehr plan- und steuerbar und könnten daher in größeren Fertigungsanlagen nicht mehr realisiert werden.

³⁹ <http://www.rsi-roboscanning.de/index.php/software/process-simulate> (Stand 22.06.2015)

4.2 Ist Situation Produktion

Die Realisierung von Fahrzeugprojekten wird auf operativer Ebene von den Bereichen Layoutplanung, Produktionsplanung und Simulationsplanung getrieben und übergreifend von der Prozessplanung gesteuert. Aktuelle Herausforderungen bei der Umsetzung sind die differierenden Systemstrukturen und -anforderungen die aufgrund unterschiedlicher Verwaltungssysteme und Datenformate hervorgehen. In der Layoutplanung, sowie in der Produktionsplanung werden eigene Datenserver eingesetzt und bei Datenübermittlungen müssen zeit- und kostenintensive Konvertierungsprozesse ausgeführt werden um einen Austausch generieren zu können. Organisatorisch sind die beiden Bereiche in verschiedenen Abteilungen angesiedelt, wodurch bei Projektentscheidungen oft gegensätzliche Ansätze verfolgt werden und somit nicht immer ein Optimum für den Produktionsprozess erzielt wird. Wie in der Abbildung 7 gezeigt wird, werden unterschiedliche Systeme für den Planungsprozess verwendet und die Kommunikation erfolgt anhand manueller Synchronisationen. Eine Zusammenführung der eingesetzten Systeme, sowie der organisatorischen Aufstellung ist gefordert, da durch die Verwendung einer gemeinsamen Datenbasis die Durchlaufzeit verkürzt und Planungsdatenqualität somit verbessert werden könnte.

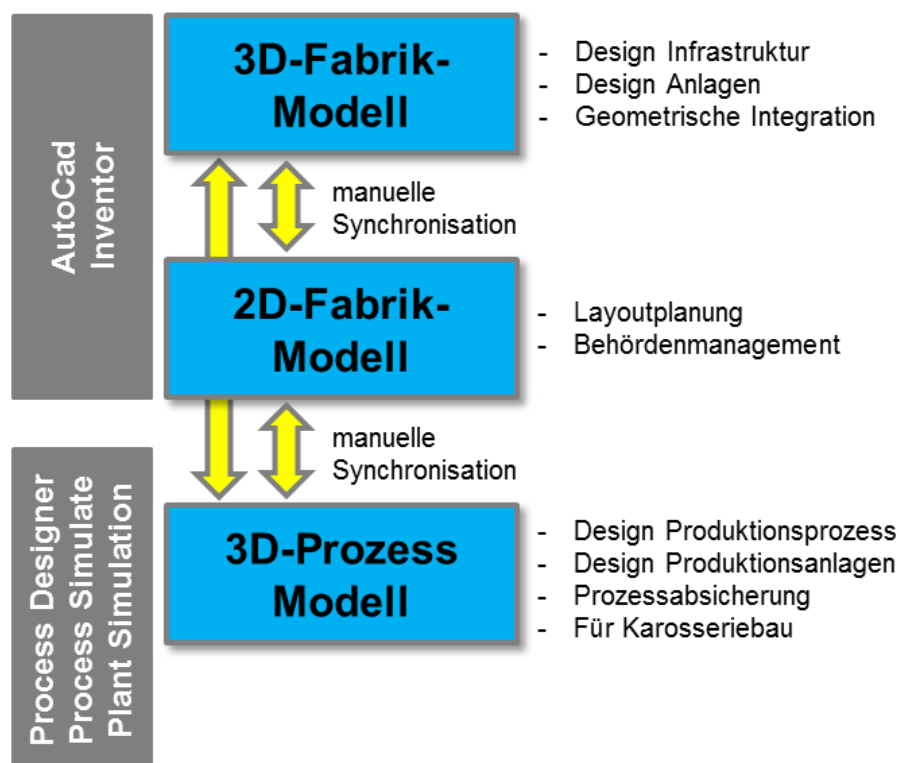


Abbildung 7: Ist-Situation der Systemarchitekturen der Produktionsplanungsbereiche

4.2.1 Layoutplanung

Produzierende Unternehmen müssen heutzutage schnell und flexibel auf die sich ständig ändernden Projekt- und Marktsituationen eingehen können. Um ihre Wettbewerbsfähigkeit erhalten zu können, müssen ihre Produktionseinrichtungen wandlungsfähig, flexibel, modular und nutzungsneutral eingesetzt werden können.⁴⁰

Die Layoutplanung erstellt, wie in der Abbildung 8 ersichtlich, ein digitales Hallenlayout, basierend auf 3D Scans, welches die reale Fabrik in einem virtuellen Modell widerspiegelt. Sie trägt die Verantwortung für das gesamte Anlagen- und Infrastrukturdesign, das Behördenmanagement zur Freigabe von Produktionslinien, sowie auch die geometrische Integration in bestehende Gewerke. In der Projektentstehungsphase ist die Layoutplanung zuständig für die Festlegung einer optimalen Produktionsstätte und stellt in weiterer Folge die Basis für den darauf aufbauenden Produktionsplanungsprozess her. In der heutigen Situation verwendet die Layoutplanung ein eigenes Datenverwaltungssystem, sowie auch eigene Konstruktionsprogramme, welche durch die geringe Anzahl von Nutzern zu hohen Systemkosten führen. Eine aktuelle Herausforderung ist der Datentransfer, wie auch der Datenrückfluss, mit den damit verbundenen Konvertierungsprozessen die sich bei einer Bereitstellung von Layouts für die Produktionsplanung ergeben. Eine einheitliche Datenbasis ist gefordert.

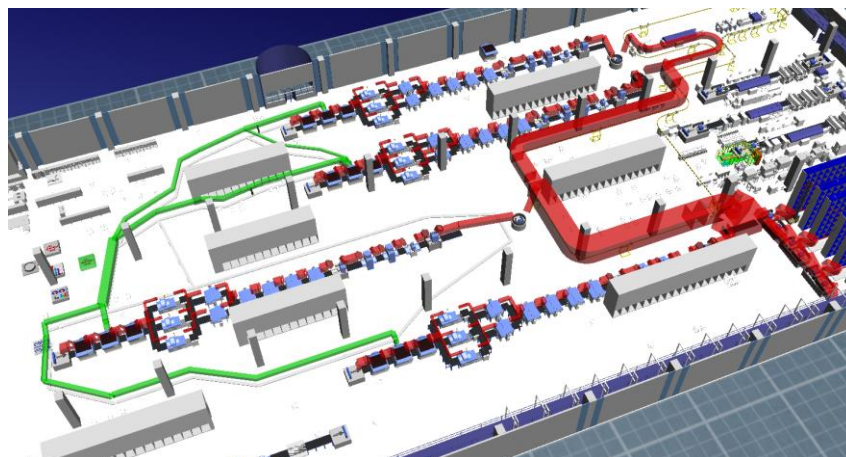


Abbildung 8: Digitales Hallenlayout Modell⁴¹

⁴⁰ Vgl. Bracht/Geckler/Wenzel 2011, Digitale Fabrik, S.26

⁴¹ <http://www.rsi-roboscanning.de/index.php/software/plant-simulation> (Stand 22.06.2015)

4.2.2 Produktionsplanung

Die Produktionsplanung zählt zu den operativen Planungseinheiten des Produktionsprozesses. Die in der Prozessplanung generierte Ablaufreihenfolge wird in Verbindung mit dem Hallenlayout durch die einzusetzenden Produktionsressourcen ergänzt. Durch das vorgegebene Layout wurde bereits die Aufstellung der Fertigungszellen definiert und im Prozessbaum wurden die einzelnen Füge-schritte anhand der MBOM aufgebaut. Auf dieser Basis beschäftigt sich die Produktionsplanung mit der Ressourcenauswahl, wie auch der Aufteilung der einzelnen Fertigungsschritte in den vorhandenen Stationen.

Zu den Aufgaben der Produktionsplanung zählt neben der Auswahl von kostengünstigen Bereitstellungen von Fertigungsressourcen, auch die Verantwortung der Lieferantenauswahl und die Organisation für den Aufbau der Anlage. Fokussiert wird die Verwendung von bereits bestehenden Vorrichtungen und Geräten, die aus Vorgängerprojekten übernommen werden können, sowie auch die Werkzeugauswahl, die allenfalls aus einem bestehen Pool entnommen werden sollte. Dies hat diesen Hintergrund, dass bei Ausfällen immer ein Duplikat zur Verfügung stehen muss, um die Produktionsstillstandszeiten so kurz wie möglich zu halten und nicht auf Lieferzeiten angewiesen zu sein.

Nach der Ressourcenauswahl werden anhand der zur Verfügung stehenden Werkzeuge die Fertigungsschritte auf die einzelnen Stationen verteilt, wodurch eine permanente Kommunikation mit der Prozessplanung und der Fahrzeugentwicklung gefordert ist. Oft werden im Zuge von Zugänglichkeitsuntersuchungen Fügeverfahren, oder -positionen festgestellt, die in der Realität nicht umgesetzt werden können. Deshalb muss der Planungsstand, bzw. der Ablaufprozess angepasst werden.

Aktuell stellt sich die Kommunikation mit den Bereichen der Fahrzeugentwicklung sehr oft als schwierig dar, da eine einheitliche Diskussionsbasis aufgrund von unterschiedlichen Datenständen schwer gefunden werden kann und das Änderungsmanagement nur langsam auf Änderungswünsche reagieren kann. Dies führt häufig zu mehreren Änderungsschleifen und vervielfachten Anpassung, beziehungsweise Untersuchungen der Entwicklungs- und Planungsbereiche.

4.2.3 Simulationsplanung

In der Simulationsplanung werden virtuelle Zellenabsicherungen, wie auch die Ablaufprogramme der Fertigungsroboter erstellt. Die Hauptanwendungsgebiete sind somit hochfrequente Fertigungszellen, die zu einem überwiegenden Teil automatisiert sind und sich zu meist in Rohbaufertigungen, oder Montagevorgängen wiederfinden. Es wird in der Regel pro Fertigungszelle ein eigenes Simulationsmodell aufgebaut, in dem alle Komponenten, bzw. Störkonturen, mit den geometrischen Gegebenheiten der realen Zelle enthalten sind.

Auf dieser Basis werden die Fügeprozesse der Prozessplanung herangezogen und in sinnhafter Abarbeitungsweise sortiert. Ein Schwerpunkt der Simulationsplanung ist die Einhaltung von Taktzeiten und Fügevorgaben. So müssen zum Beispiel geometrisch stützende Verbindungspunkte zuerst im Fertigungsprozess abgearbeitet werden, bevor Stabilitätspunkte gefertigt werden können.

Die virtuelle Inbetriebnahme von automatisierten Anlagen zählt bereits heute zu den Voraussetzungen von kurzen Durchlaufzeiten bei Produktintegrationen oder Neuprojekten. In diesen Simulationsmodellen werden die Roboterprogramme, sowie auch die damit verbundenen SPS-Steuerungssignale vollständig aufgebaut und getestet, wodurch bei Um- oder Aufbauarbeiten die Roboter bereits vollkommen einsatzfähig an ihren Standort gebracht werden können, und nach ihrer Montage die Produktion unverzüglich gestartet werden kann. Programmfehler, Fehlerquellen in der Steuerung und zugleich auch kostenintensive Kollisionen werden bereits durch die Simulation abgesichert und verhindern teure Reparaturarbeiten oder Produktionsausfälle.

Ein weiterer Vorteil ergibt sich zum Beispiel bei Stückzahländerungen oder dergleichen, da die Anpassungen während des Produktionsbetriebes durchgeführt werden können und die Umsetzung in einer kurzen Durchlaufzeit realisiert werden kann.

Die Simulationsplanung ist auf die Bereitstellung von geometrisch korrekten Hallenlayouts durch die Layoutplanung angewiesen, um eine 100 prozentige Kollisionsabsicherung durchführen zu können. Aufgrund der unterschiedlichen Systemlandschaften ist dies jedoch sehr oft mit langen Transfer- und Konvertierungsprozessen verbunden, die die Planungszeit erheblich verlängert.

5 Umsetzung der Digitalen Fabrik

Eine Anpassung der derzeit getrennt voneinander abgehandelten Entwicklungs- und Produktionsprozesse wird durch den Einsatz der Digitalen Fabrik durchgeführt. Dies erfolgt anhand der Zusammenführung von Systemarchitekturen und der Etablierung einer neuen Organisationsstruktur.

In der Fahrzeugentwicklung müssen die beiden Organisationen Stücklistenmanagement und Produktdatenmanagement integriert werden. Mittels eines Product-Lifecycle-Management (PLM) Systems werden die CAD-Geometriekomponenten mit den Verwendungs- und Materialinformationen aus der EBOM ergänzt und in weiterer Folge für die darauf aufbauenden Prozesse mit produktionsrelevanten Inhalten zur Verfügung gestellt. Des Weiteren wird der Entwicklungsprozess so angepasst, dass die EBOM direkt mit der MBOM verknüpft wird, wodurch ein durchgängiger Datenfluss mit den aktuellen Freigabeständen generiert wird.

Die Systemarchitektur muss an die neuen Anforderungen angepasst werden. Um eine einheitliche Datenbasis zu schaffen, muss das TeamCenter Engineering an das TeamCenter Manufacturing gekoppelt werden, wodurch beide Verwaltungssysteme mit den Datenständen des anderen über eine Schnittstelle synchronisiert werden.

Die MBOM wird weiterhin von den Produktionsplanungseinheiten aufgebaut, referenziert jedoch nicht mehr auf eine separat verwaltete Produktdatenstruktur, sondern bezieht seine Produktdaten direkt aus den Konstruktionsständen der Entwicklung. Die hier eingearbeiteten Produktionsinformationen werden mit den Entwicklungsdaten synchronisiert, wodurch die Entwicklung mit produktionsbezogenen Informationen versorgt wird.

Die Layoutplanung müsste mit den Anlagen- und Prozessplanungseinheiten organisatorisch zusammengeführt und in ein vereinheitlichtes Planungssystem integriert werden. Das Hallenlayout würde dadurch mit den darin enthaltenen Ressourcen, die für die Ablaufsimulationen benötigt werden, in einer übergreifenden Betrachtung bereitgestellt werden. Dies hätte den Vorteil, dass das Hallenlayout mit der Unterstützung von 3D-Scans aufgebaut werden könnte. Die Gewerke würden als Basis für die Linienplanung detailgetreu zur Verfügung

gestellt und die einzelnen Fertigungszellen könnten dementsprechend an die Hallengegebenheiten angepasst und ausgerichtet werden. Durch den Einsatz von Ressourcenbibliotheken hätten die Planungs- und Simulationsbereiche keinen weiteren Bedarf, um die Linien in ihrem System neu aufzubauen zu müssen, da sie direkt aus der Layoutplanung übernommen werden könnten. Ein weiterer Vorteil bietet sich bei kinematisierten und modellierten Objekten. Derzeit werden die Daten aus den Layoutplanungssystemen bereitgestellt und müssen nach aufwendigen Konvertierungen in das Produktionsplanungstool importiert werden und alle bewegungsspezifischen Aktionen müssen erneut in den CAD-Modellen aufgebaut werden. Nach der Zusammenführung der Planungssysteme könnten die CAD-Komponenten direkt in die Simulationsmodelle übernommen und ohne Anpassungen, Neupositionierungen oder Modellierungen für die Ablauf- und Absicherungssimulationen verwendet werden. Daraus generiert sich eine enorme Zeitersparnis und die Durchlaufzeit der Projekte könnte infolge erheblich gesenkt werden.

Zusätzlich werden Abstimmungsbedarfe der Planungsbereiche minimiert, da die einheitlichen Datenmodelle nur nach einem Systemstandard ausgerichtet werden müssten und somit eine vereinfachte Datenbeschaffung durch geringere Systemanforderungen ermöglicht wird.

5.1 Reorganisation in gesamtheitlicher Betrachtung

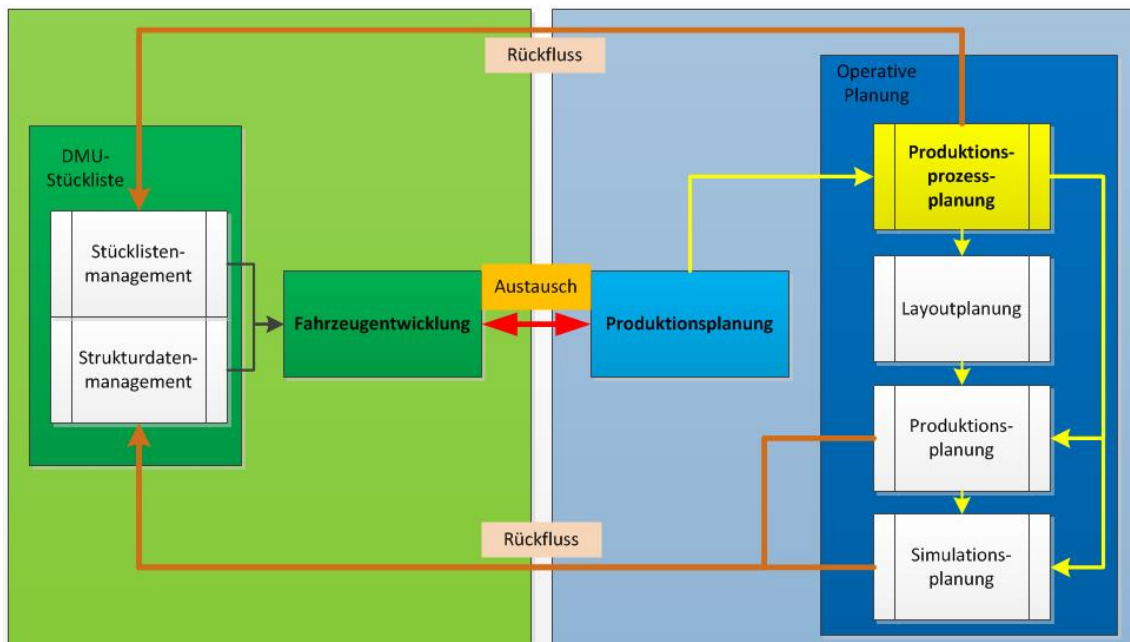


Abbildung 9: Reorganisation durch die Digitale Fabrik

Anhand dieser Übersicht wird gezeigt, wie sich die unternehmensinternen Prozesse durch den Einsatz der Digitalen Fabrik entwickeln würden. Das Hauptaugenmerk wird dabei auf die Kommunikation zwischen den beiden Bereichen Entwicklung und Produktion geworfen. Ein verbesserter und direkter Informationsaustausch der Organisationseinheiten soll gewährleistet werden und angesichts ihres gesteigerten Zusammenwirkens soll der Produktentstehungsprozess eine höhere Qualität erlangen.

Aufgrund einer einheitlichen Datenbasis und den übergreifenden Organisationsprozessen können die einzelnen Konstruktions- und Planungsbereiche auf einen gemeinsamen Wissenstand aufbauen und leichter miteinander kommunizieren. Anhand des sich daraus ergebenden verstärkten Informationsrückflusses kann das Änderungsmanagement früher in den Entwicklungsprozess eingreifen, wodurch Fehlkonstruktionen schneller berichtigt und die Anzahl der Änderungsschleifen dadurch minimiert werden können.

Wie in der Abbildung 9 zu sehen ist, muss eine Reorganisation der einzelnen Gruppen, wie auch der übergeordneten Abteilungen, durchgeführt werden, um

das Konzept der Digitalen Fabrik sinnhaft und funktionsübergreifend einsetzen zu können.

In der Fahrzeugentwicklung müssen die Bereiche Stücklistenmanagement und Strukturdatenmanagement zu einer Gruppe zusammengeführt werden. Auf diese Weise generiert sich ein durchgängiger und in kürzerer Durchlaufzeit abhandlungsfähiger Freigabeprozess, wodurch eine Reduktion der Entwicklungszeit erzielt werden kann. Darüber hinaus wird diese Reorganisation überhaupt als Grundlage für die Erstellung einer DMU-fähigen Stückliste benötigt, um mittels einer Struktur die gesamte Verwaltung von stücklistenrelevanten Information für Lieferantenbestellungen, sowie auch produktionsbenötigter Informationen wie Material und Bedarfsermittlung, und den damit in Verbindung stehenden CAD-Daten sicherstellen zu können.

In der Produktionsplanung muss die Layoutplanung in den Organisationsprozess integriert werden, welche in weiterer Folge auch durch den Informationsfluss der Prozessplanung gesteuert werden sollte und in direkter Verbindung mit der Produktions- und Simulationsplanung an einem Datenmodell ihre Aufgaben tätigen sollte. Mit der Aufstellung der operativen Planungseinheiten innerhalb einer Organisation wird die Kommunikation zwischen den Planungsbereichen verbessert, sowie auch die Verfolgung gemeinsamer Ziele und Anforderung etabliert.

Der Rückfluss von Produktionsinformationen aus der Prozess-, Produktions- und Simulationsplanung könnte somit direkt an das Stücklisten-Strukturdatenmanagement gerichtet werden und hätte keine Verfehlung der Verantwortungs-träger mehr zur Folge. Dadurch wird auch eine schnellere Einbindung von Änderungswünschen in den Entwicklungsprozess und deren Abarbeitung ermöglicht.

5.2 Soll-Situation - Systemintegrationen

Als Grundlage für den Datenaustausch von DMU-fähigen Stücklisten mit der Produktionsplanung, muss im Entwicklungsbereich die Systemlandschaft auf ein neues Verwaltungs- und Verhaltensmodell angepasst werden. Die Geometrieinformationen, die Verbindungstechniken, sowie die Stücklistenattribute müssen in eine einheitliche Datenmodellstruktur zusammengeführt werden, wobei die Stücklistenstruktur als Master fungiert und die CAD-Daten, wie auch die Verbindungstechniken direkt mit dem übergreifenden Stücklistenobjekt verknüpft werden. Wie in der Abbildung 10 ersichtlich wird, soll mit dieser Änderung, im Gegensatz zu der vorher veranschaulichten Ist-Situation in Abbildung 5, die Transformation der CAD-geführten Stückliste nicht erst im Konvertierungsprozess bei einer Datenintegration in der Produktionsplanung erfolgen, sondern bereits in der Entwicklungsdatenbank in dieser Form aufgebaut werden. Diese Umstellung bringt abgesehen von den Verwaltungsvorteilen für die Entwicklung, auch einen großen Nutzen für die Datenbeschaffungsabläufe der Produktion, da diese direkt auf die Produktdaten aus dem Engineering referenziert werden können. Kosten- und zeitaufwendige Konvertierungsprozesse müssen nicht mehr angewandt werden, es besteht eine einheitliche Datenbasis und die Produktionsattribute können automatisiert in die Entwicklungsumgebung zurücksynchronisiert werden.

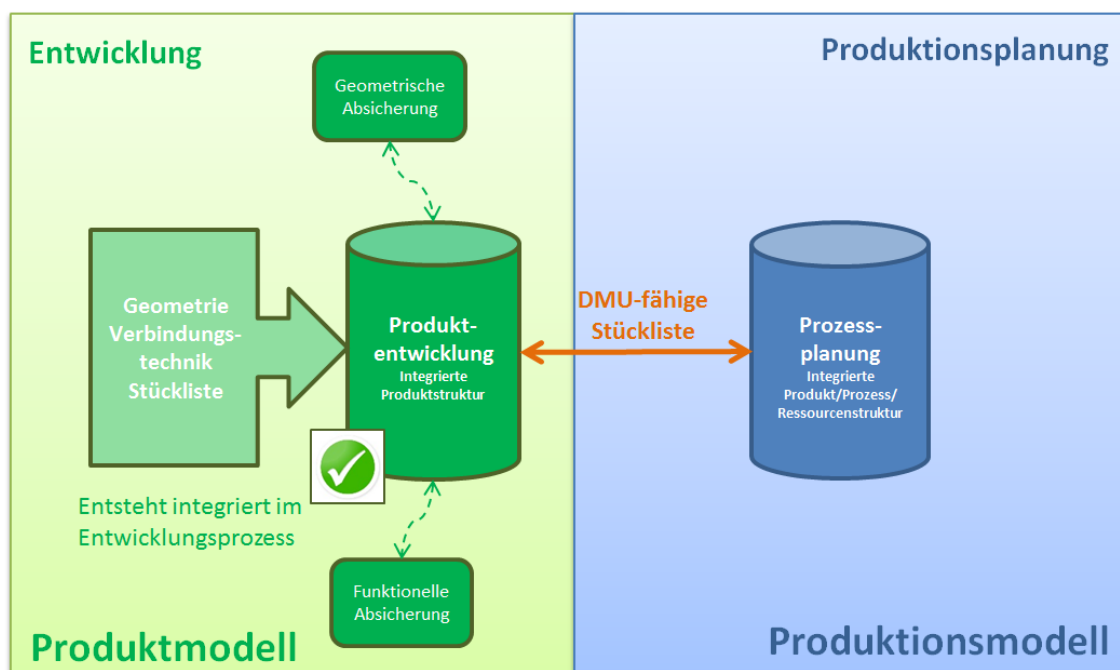


Abbildung 10: Soll-Situation Datenaustausch Entwicklung-Produktionsplanung

Für die Produktionsmodelle besteht ein Optimierungsbedarf bei der Integration des durch die Layoutplanung entworfenen Fabrikmodells in das von den Produktionsplanungsbereichen verwendete 3D-Prozessmodell. Eine automatische Synchronisation dieser beiden Aufbaukonzepte soll anhand einer einheitlichen Datenverwaltung im TeamCenter Manufacturing hergestellt werden. Die eingesetzten Produktionsplanungssysteme beziehen sich somit auf eine Datenbank und die Layoutplanung, die Produktionsplanung, wie auch die Simulationsplanung werden permanent mit den Datenständen der anderen Bereiche versorgt, ohne die Daten zuvor konvertieren, kinematisieren, oder modellieren zu müssen.

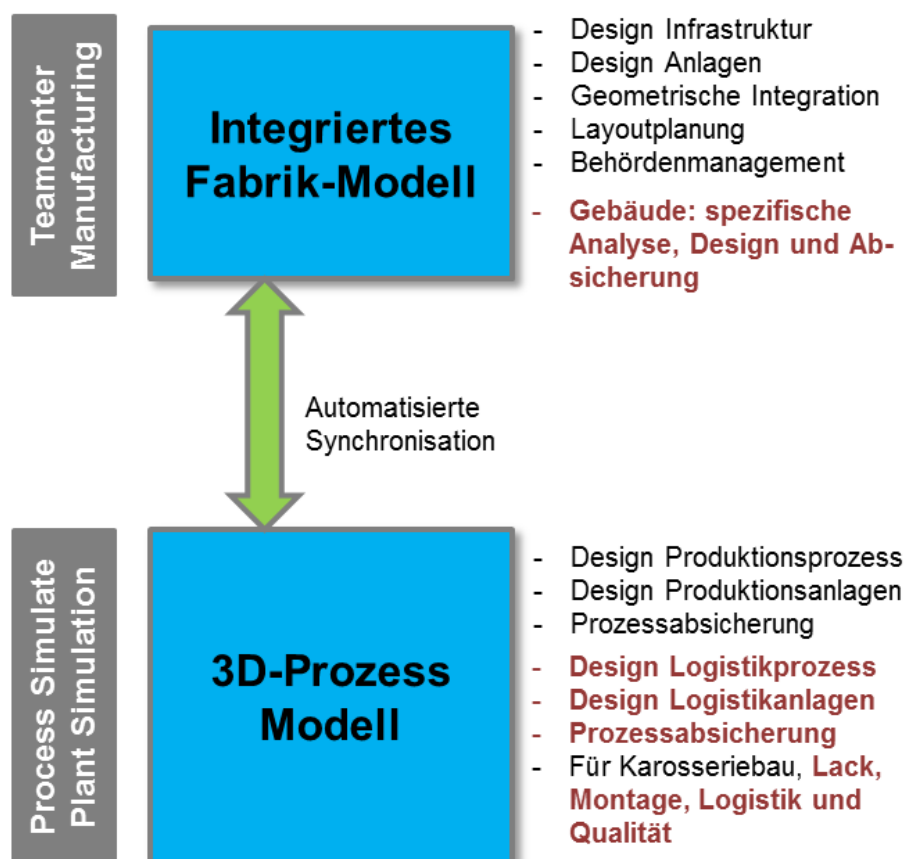


Abbildung 11: Soll-Situation der Systemarchitekturen der Produktionsplanungsbereiche

Durch diese hier gezeigte Systemlandschaft können die virtuellen Produktionsabsicherungen direkt auf dem vollumfänglichen Layout-Konzept aufgebaut werden und des Weiteren auch Logistik-, Montage- und Qualitätsprozesse in das Simulationsmodell und in die Ablaufplanung miteinbezogen werden.

5.2.1 Systembeschreibung

Für die Umsetzung eines systemgestützten, digitalen Fabrikkonzeptes, welches umfassend die Produktentwicklungsstände mit den Layout- und Ressourcendaten und den miteinander verknüpften Engineering BOM und Manufacturing BOM verbindet, wird eine neue Systemarchitektur benötigt.

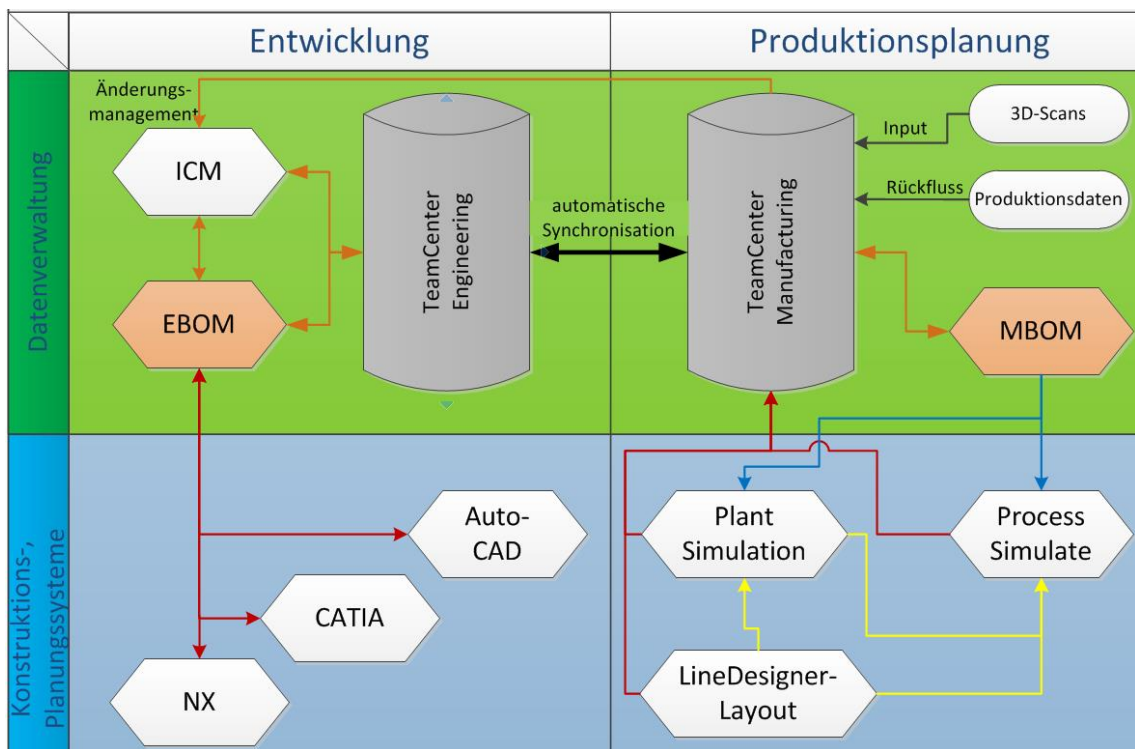


Abbildung 12: Datenverwaltungs-, Konstruktions- und Planungskonzept der DF

In Abbildung 12 wird sehr gut veranschaulicht, wie dieses neue Konzept aufgebaut werden muss, um die Systembasis für die Digitale Fabrik zu schaffen. TeamCenter Engineering (TCE) und TeamCenter Manufacturing (TCM) dienen als automatisiert miteinander synchronisierte Datenverwaltungssysteme. Die Prozesse für die entwicklungs- und freigabebedingten Abläufe werden im TCE festgelegt und die gesamte Produktionsprozessplanung, auf welche die Produktionsplanungsbereiche referenzieren, wird im TCM aufgebaut und abgehandelt.

5.2.2 Funktionsweise

Fokussiert auf den Prozessablauf, wird in der Fahrzeugentwicklung mit der Konstruktion von virtuellen Produktmodellen mittels Konstruktionsprogrammen, wie Catia, NX, AutoCAD, u.v.m., begonnen, welche in der TCE Datenbank gespeichert und verwaltet werden. Die Verwaltung von Produkt- und Verbindungsdaten wird durch ein Konzept der DF mittels einer DMU-fähigen Stückliste ausgeführt, indem die CAD-Daten direkt mit der im TeamCenter aufgebauten Stückliste verbunden werden. Der Freigabeprozess der Entwicklungsstände wird über das ICM imitiert und nach geometrischer, wie funktionaler Absicherung in einem gefrorenen Stand veröffentlicht.

Durch eine Synchronisationsroutine werden in einer definierten Zeitabfolge die neu freigegebenen Datenstände ohne Konvertierungsprozess in das TCM transferiert, wodurch die Produktionsplanung permanent aktuelle Referenzfahrzeuge für ihre Planungstätigkeiten zur Verfügung haben. Im TCM werden zusätzlich zu den Produktdaten auch Produktionsdaten, wie auch Referenzdaten von beispielsweise 3D-Scantätigkeiten, oder Produktionsüberwachungen verwaltet und bereitgestellt, wodurch die Planungsbereiche jederzeit ihre Planungsumfänge auf aktuellen Anlagenständen ausführen können.

Die von der Entwicklung erhaltenen Produktdaten werden von der Prozessplanung in Verbindung mit den Produktionsabläufen in einer MBOM aufbereitet und ein Produktionsprozess wird mittels dem Tool Plant Simulation daraus entwickelt. Auf diesen Prozess wird anschließend von der Layoutplanung mit den Informationen aus den 3D-Scans ein Produktionslinienkonzept mit Hilfe der Prozessplanung in Form eines Hallenlayout durch das Programm Line Designer entwickelt, welches auf der TCM Datenbank gespeichert wird. Durch die gemeinsame Datenbank kann die Produktionsplanung bereits zeitgleich mit der Ressourcenauswahl, wie auch mit den Zugänglichkeitsuntersuchungen beginnen und nach der ersten aufgebauten Zelle bereits durch die Simulationsplanung im Process Simulate abgesichert werden. Zum Zwecke eines so frühen Einsatzes der Produktionsplanungstätigkeiten können unter dem Synonym Simultaneous Engineering schon während der frühen Planungszeit Änderungsbedarfe über das Änderungsmanagement eingesteuert, und dementsprechend in die Entwicklung vor Meilensteinen eingearbeitet werden.

5.2.3 Prozessoptimierung

Die Bereitstellung von Entwicklungsdaten über eine automatisierte Schnittstelle verringert den zeitaufwendigen und mit Informationsverlusten behafteten Einsatz von Konvertierungsprozessen und bietet nebenbei den großen Vorteil einer immer aktuellen Produktdatenversorgung.

Die Vereinheitlichung der virtuellen Planungssysteme trägt bedeutend zur Steigerung der Produktivität von Unternehmensprozessen bei. Durch die Ermöglichung von virtuellen Inbetriebnahmetätigkeiten und den daraus folgenden reduzierten Produktionsunterbrechungen, zum Beispiel bei der Integration von neuen Produkten, können kostenintensive Produktionsstillstandszeiten minimiert werden. Durch die virtuelle Inbetriebnahme von übergeordneten SPS-Programmen können Änderungen schon vorab getestet und demzufolge auch Fehler an der Anlage ausgeschlossen werden.

Mit der Umsetzung einer einheitlichen, durchgängigen Datenbasis entspricht der virtuelle Planungsstand immer dem tatsächlichen Anlagenstand und die Integration von neuen Produktmodellen kann somit auf den aktuellen Gegebenheiten ausgeführt werden. Angesichts der Tatsache, dass alle Mitarbeiter in einer Datenbank arbeiten, werden permanent von und für alle Planungsbereiche die aktuellen Daten- und Entwicklungsstände zur Verfügung gestellt.

Ein weiteres Resultat aus dem Einsatz der Digitalen Fabrik ist eine verbesserte Prozessentwicklung, da Anlagenuntersuchungen, sowie auch Prozessoptimierungen ohne Produktionsunterbrechung bei laufendem Betrieb in Simulationsmodellen umgesetzt werden können.

Eine Kostensenkung der Entwicklungs- und Planungskosten soll aufgrund der Vereinheitlichung und Wiederverwendbarkeit von CAD-Modellen generiert werden. Darüber hinaus wirken sich auch die reduzierten Produktionsunterbrechungen positiv auf die Fertigungskosten aus. In Ergänzung zur Kostensenkung soll durch virtuelle Absicherungen von Prozessen das Ausfallrisiko minimiert werden und Beschädigung von Betriebsmitteln durch den Einsatz von Simulationsmodellen ausgeschlossen werden.

5.3 Kosten Nutzenanalyse

Die Prozessoptimierungen wirken sich positiv auf die Systemkosten, sowie auch auf die Personalaufwände aus und bewirken eine Kostenersparnis durch kürzere Durchlaufzeiten. In ganzheitlicher Betrachtung ergibt der Einsatz der Digitalen Fabrik einen beachtlichen Vorteil für das Unternehmen und steigert somit dessen Wettbewerbsfähigkeit.

Mit der Implementierung der übergreifenden virtuellen Planungssysteme wird eine Reduktion der time-to-market in der Fahrzeugentwicklung, wie auch in der Produktion erzielt. Bei einem neuen Produkt können auf Basis fiktiver Werte vom Planungsstart bis zum SOP (Start of Production) durch virtuelle Produktionsplanung und -absicherung folgende Ergebnisse erzielt werden:

- Es müssen **keine physischen Prototypen** mehr entwickelt werden
 - Ersparnis pro 1 Prototypenphase = **ca. 70 Prototypen**
- In der **Rohbauplanung** (BIW-Body in White) wird eine Verkürzung der Durchlaufzeit um ca. 15% gegenüber konventioneller Planung erzielt
 - Bei ca. 24 Monaten = **neue Durchlaufzeit ca. 20,4 Monate**
- Im Bereich **Lack** wird eine Verkürzung der Durchlaufzeit um ca. 10% gegenüber konventioneller Planung erzielt
 - Bei ca. 14 Monaten = **neue Durchlaufzeit ca. 12,6 Monate**
- In der **Montage** wird eine Verkürzung der Durchlaufzeit um ca. 10% durch virtuelle Entwicklung angesteuert
 - Bei ca. 30 Monaten = **neue Durchlaufzeit ca. 27 Monate**
- In der **Logistikplanung** wird eine Verkürzung der Durchlaufzeit um ca. 10% gegenüber konventioneller Planung angesteuert
 - Bei ca. 24 Monaten = **neue Durchlaufzeit ca. 21,6 Monate**

Während der Produktion profitieren auch die Serienplanungsbereiche durch den automatisierten Rückfluss von Produktionsdaten in den Planungsstand. Aufgrund der allzeit aktuellen Datenbasis können Optimierungen bei Abtaktungen in der Serie, zum Beispiel bei Stückzahländerungen, deutlich schneller durchgeführt werden und das Änderungsmanagement wird somit beschleunigt.

Die Durchlaufzeitreduktion ergibt in der Serie folgende Vorteile:

- Im **Bereich Lackierung** können 1-2% der Serienplanungstätigkeiten aufgrund der Verringerung von Aufwänden für Datenimport und -haltung eingespart werden.
 - Bei 108 Mannmonaten (MM) pro durchschnittlichem Umsetzungsprojekt (3 Jahre) = **ca. 2,2 MM Ersparnis**
- In der **Rohbauserienplanung** werden bis zu 5% der Key-User Aktivitäten (Key User – Produktverantwortlicher) durch automatisierte Datensynchronisation und einer einheitlichen Ressourcen-Bibliothek eingespart.
 - Bei 216 MM = **ca. 10,8 MM Ersparnis**

In der Produktion werden anlässlich der virtuellen Inbetriebnahmen und der Einsparungen von Prototypenfertigungen Personalaufwände reduziert. Mittels der gemeinsamen Datenhaltung und der dadurch verbundenen Abtaktung von Produktion und Logistik ergeben sich folgende Reduktionspotentiale:

- In der **Montage** können einmalig 1-2% des Mannings eingespart werden
 - Bei ca. 1200 MA in der Fertigung = einmalig **ca. 10-25 MA = ca. 0,5 – 1,2 Mio. €**
- Im **Lack** können einmalig 2-3% des Mannings eingespart werden
 - Bei ca. 600 MA in der Fertigung = einmalig **ca. 12-18 MA = ca. 0,5 – 1 Mio. €**
- In der **Rohbauserie** können durch die virtuellen Inbetriebnahmen ca. 1-2% des Mannings reduziert werden, jedoch nicht in der Serienfertigung, da diese beinahe vollständig automatisiert ist.
 - Einmalig **ca. 5-6 MA = ca. 0,2 – 0,3 Mio. €**
- In der **Logistikplanung** wird durch eine optimierte Intralogistikplanung und -absicherung und den damit verbundenen Mehraufwänden für Kommissionierungen die Mehrkosten an Manning mit der Reduktion in der Serie kompensiert.

5.3.1 Einheitliches System

Die Zusammenführungen von Systemarchitekturen und Planungssystemen schlägt sich profitabel auf die Lizenz- und Wartungskosten nieder. Die Anzahl der verschiedenen Systemlizenzen wird minimiert und auf einen Systemanbieter konzentriert. Grundsätzlich werden die Systemeinsatzkosten mit steigender Anzahl der dafür gekauften Lizenzen im Durchschnitt billiger. Verwendet man eine Systemumgebung mit wenigen Lizenzen so sind der Wartungsaufwand und die damit verbundenen Wartungskosten annähernd gleich teuer, als ob man gleichzeitig mit mehreren Anwendern arbeiten würde.

In der Fahrzeugentwicklung werden derzeit bereits TeamCenter-Systeme eingesetzt. Durch die Integration einer Produktionsplanungsdatenbank könnten folgende Kostenansätze reduziert werden:

- Die **Layoutplanung** würde in die TeamCenter Manufacturing Datenbank integriert werden, ihre derzeit eingesetzte Datenbankverwaltung könnte damit stillgelegt werden.
 - **Ersparnis von 200.000 €** Datenbank- und Wartungskosten / Jahr
 - **Entfall von 20 Systemlizenzen zu je 30.000€ / Jahr = 600.000 €**
- Die Datenbankverwaltung der **Produktionsplanung** würde von ihrem EM-Server in die TeamCenter Umgebung integriert werden
 - **Ersparnis von 350.000 €** Datenbank- und Wartungskosten / Jahr
- Für die Layoutplanung müssten TeamCenter Lizenzen gekauft werden
 - Bei derzeitigen 40 TeamCenter Lizenzen belaufen sich die Wartungskosten auf 150.000€ /pro Jahr => 3750€ pro Lizenz/Jahr
 - Nach der Integration der Layoutplanung würden sich durch 60 eingesetzte TeamCenter Lizenzen, bei gleichbleibenden Server-Wartungskosten, folgende Werte ergeben:
 - Bei 60 TeamCenter Lizenzen belaufen sich die Wartungskosten weiterhin auf 150.000€ /pro Jahr => 2500€ pro Lizenz/Jahr => daraus folgt eine **Kostenersparnis von 1250€ pro Lizenz/Jahr**

Durch die Umsetzung einer einheitlichen Datenbank könnte eine Gesamtreduktion von **ca. 1,2 Mio. € / Jahr** an System- und Wartungskosten erzielt werden.

5.3.2 Zusammenführung der Strukturen

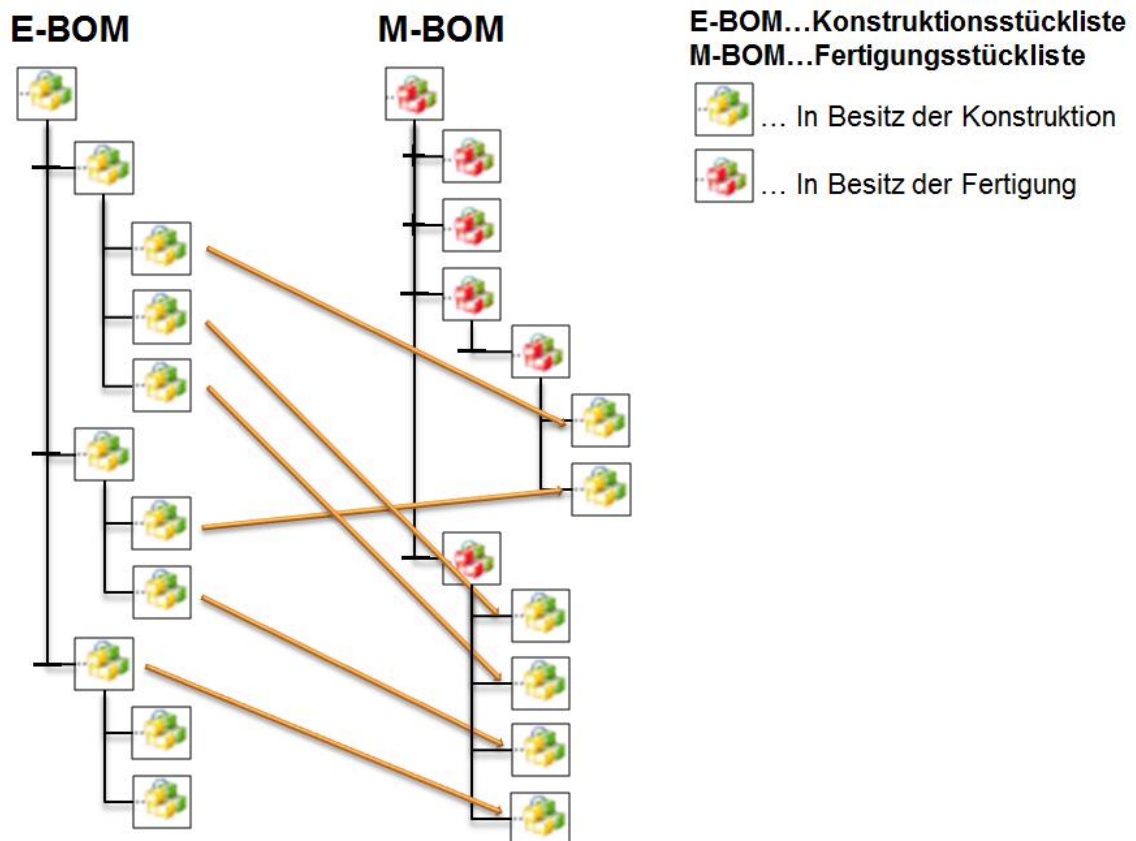


Abbildung 13: Koppelung der Produktdaten EBOM-MBOM

In der Fahrzeugentwicklung können durch die Zusammenführung der Produktstrukturen Datenmanagement und Konvertierungstätigkeiten eingespart werden. Durch die Verwendung einer CAD- und Stücklistenstruktur, sowie ein vom System unterstützten Freigabeprozess, würde eine Reduktion der Durchlaufzeit vorliegen und durch die aus der Produktionsplanung früher zurückgemeldeten Untersuchungsergebnisse die Anzahl der Freigaben verringert werden.

Durch die Verringerung des Aufwands der Datenbereitstellung können ca. 50% des Datenmanagements eingespart werden.

- Pro Projekt ca. 4 MA für Datenmanagement und Konvertierungsprozesse eingesetzt

➔ ca. 2 MA/Jahr → ca. 48.000 €/Jahr Einsparungspotential

Zeitaufwand eines Freigabeprozesses inklusive Strukturanpassungen und CAD-Verlinkungen:

CAD-Struktur und Stückliste getrennt:

Ca. 2 Stunden pro Freigabe

Ca. 2500 benötigte Freigabeprozesse während einer Projektlaufzeit

DMU-fähige Stückliste mit Referenz auf Produktionsinformationen

Ca. 1 Stunde und 30 Minuten pro Freigabe, - 1,5 Stunden

Ca. 2100 benötigte Freigabeprozesse während einer Projektlaufzeit

Produktivitätsanalyse:

Produktivität alt = 2500 Freigabeprozesse / 2 Stunden pro Freigabe	=> Produktivität alt = 1250
Produktivität neu = 2100 Freigabeprozesse / 1.5 Stunden pro Freigabe	=> Produktivität neu = 1400

- Durch die einheitliche Struktur würde die Produktivität um ca. 12% steigen

Wirtschaftlichkeitsanalyse:

Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit werden folgende Größen herangezogen:

- Eine Ingenieur wird mit einem Stundensatz von 85€ / Stunde bewertet

Die Kosten pro Freigabe setzen sich zusammen aus dem Zeitaufwand x dem Stundensatz.

Kosten alt = 2Std pro Freigabe x 85 Euro pro Stunde	=> Kosten alt = 170 € pro Freigabe
Kosten neu = 1.5Std pro Freigabe x 85 Euro pro Stunde	=> Kosten neu = 127.5 € pro Freigabe

Wenn in beiden Fällen der gleiche Kostenbetrag pro Freigabe verrechnet wird, ergibt sich folgende Wirtschaftlichkeit der beiden Prozesse:

$$\text{Wirtschaftlichkeit} = \frac{\text{wertmäßiger Faktorertrag}}{\text{wertmäßiger Faktoreinsatz}}$$

Wirtschaftlichkeit alt =	$\frac{2500 \text{ Freigabeprozesse} \times 170 \text{ Euro pro Freigabe}}{2500 \text{ Freigabeprozesse} \times 2 \text{ Stunden pro Freigabe} \times 85 \text{ € Stundensatz}}$
=> Wirtschaftlichkeit alt = 1	
Wirtschaftlichkeit neu =	$\frac{2500 \text{ Freigabeprozesse} \times 170 \text{ Euro pro Freigabe}}{2100 \text{ Freigabeprozesse} \times 1.5 \text{ Stunden pro Freigabe} \times 85 \text{ € Stundensatz}}$
=> Wirtschaftlichkeit neu = 1,587	

5.3.3 Übergreifende Prozesse / Simultaneous Engineering

Eine einheitliche Datenbasis dient als Grundlage für ein sogenanntes Simultaneous Engineering. Darunter versteht man die gleichzeitige Entwicklung von Produkt- und Produktionsprozessen. Die Bereiche Produktentwicklung, Produktionsprozessentwicklung und das Supply-Chain-Management arbeiten bei Produktentscheidungen eng zusammen um Qualitäts-, Kosten- und Terminanforderungen nicht hintereinander, sondern gleichzeitig zu treffen. Dadurch können unter Berücksichtigung aller relevanten Anforderungen Änderungsschleifen minimiert werden und gleichzeitig die Markteinführung von Produkten beschleunigt werden.⁴²

Eine Verbesserung von übergreifenden Prozessen und Verfahren ist oft sehr schwer anhand von konkreten Zahlen belegbar. Der Nutzen daraus wird jedoch in der Praxis sehr schnell erkannt. Durch das Zusammenspiel der Entwicklungs- und Produktionsbereiche profitiert der komplette Produktentstehungsprozess. Es kann gezielter auf Produkt-, Produktions-, Qualitäts-, Termin-, Kosten- und Zulieferanforderungen reagiert und durch gemeinsame Entscheidungen auf die differierenden Ansprüche der einzelnen Bereiche eingegangen werden. Angesichts der permanenten Kommunikation zwischen der Fahrzeugentwicklung und den Produktionsbereichen wird die Anzahl an Produktänderungen minimiert und ein Optimum für die Entstehung eines Produktes geschaffen. Daraus resultieren verkürzte Entwicklungszeiten sowie auch Produktionsplanungskosten, da schon während der Entwicklung Untersuchungen durchgeführt werden können und Änderungen bereits vor der Freigabe eingebracht werden.

Die Prozess- und Anlagenplanung zieht des Weiteren einen großen Vorteil daraus, da die Häufigkeit von neuen Produktdatentransfers minimiert wird und demzufolge auch geringere Zugänglichkeitsuntersuchungen und Prozessänderungen durchgeführt werden müssen.

⁴² Vgl. Eversheim/Bochtler/Laufenberg 1995: Simultaneous Engineering, S. 3 ff.

6 Abschließende Betrachtung

Die Digitale Fabrik ist für die allgemeine Industrie und ganz im Besonderen für die Automobilindustrie ein nötiges Muss, um zielgerichtet und flexibel auf den wirtschaftlichen Wandel eingehen und die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen am Markt aufrechterhalten zu können. Einheitliche Ausrichtungen der Entwicklungs- und Produktionsprozesse sind für einen durchgängigen Datenfluss, sowie auch als Grundlage für einen übergreifenden Informationsaustausch gefordert. Durch den Einsatz der Methoden und Verfahren, die im Zuge einer Umsetzung der DF entwickelt und bereitgestellt werden, können organisatorische, wie auch systembasierende Prozesse vereinheitlicht und standardisiert werden.

Anhand der in der Kosten-Nutzenanalyse errechneten Werte, konnten mittels konkreten und nachvollziehbaren Angaben die Verbesserungspotentiale eines Unternehmens durch den Einsatz der DF transparent gemacht werden. Es wurde gezeigt, wie sich die Zusammenführung der vielen einzelnen Planungs- und Verwaltungstools im Positiven auf die derzeitigen Lizenz-, Wartungs- und Personalkosten auswirkt und welche Einsparungen dadurch erzielt werden könnten.

Abgesehen von den Kostenfaktoren wurden auch die nicht in Zahlen fassbaren Mehrwerte der Planungs- und Produktionsbereiche aufgezeigt, welche durch verbesserte Kommunikation, kooperierende Zusammenarbeit in den Systemen, wie auch durch das Ausführen von Planungstätigkeiten während des Produktionsbetriebes, einen großen Nutzen aus dem Einsatz eines digitalen Fabrikmodells gewinnen.

Angesichts der Einführung eines einheitlichen Verwaltungssystems und den damit ermöglichten Strukturimplementierungen wurde bewiesen, welche Vorteile sich für ein Unternehmen durch die Anpassung der Organisations- und Systemstrukturen ergeben und wie die aktuellen Problematiken, die sich aus zeitaufwendigen Informations-, Daten- und Konvertierungsprozessen entwickeln, aufgrund einer Vereinheitlichung minimiert werden können. Ausschlaggebend für die Reduktion der unternehmensinternen Herausforderungen ist eine Zusammenführung der Entwicklungs- und Produktionsplanungsabläufe, wodurch der gesamte Produktentstehungsprozess qualitativ verbessert wird. Der daraus generierte strategische Nutzen führt zu einer Effizienzsteigerung der

Produktentwicklung und ermöglicht eine erhöhte Auslastung der Produktionseinheiten durch verminderte Stillstands- und Produktionsausfallzeiten. Mit den optimierten Planungsprozessen können Produktänderungsschleifen, wie auch Stückzahlenänderungen und Produktintegrationen in der Entwicklungs- und Produktionsplanung frühzeitig erkannt und abgesichert werden.

Eine erfolgreich im Unternehmen eingesetzte virtuelle Fabrik, mit all ihren gekoppelten Systemarchitekturen und Ablaufprozessen, wird als Ausgangspunkt für die Weiterentwicklung der durch die Industrie 4.0 angestrebten Ziele benötigt, um in Ergänzung zu den virtuellen Modellen, die Organisationsprozesse mit den Planungsprozessen verknüpfen zu können. Lediglich durch die Bereitstellung eines vollständig digitalisierten Produktentstehungs- und -fertigungsprozesses können intelligente Produktzusammenbauten durch logikoperierende Fertigungsprozesse, wie auch intelligente Logistikabläufe und durchgängige Qualitätssteuerungen für die Implementierung einer sogenannten agilen Produktion realisiert werden.

Literaturverzeichnis

AWF – Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung e.V.: AWF-Empfehlung: Integrierter EDV-Einsatz in der Produktion. CIM Computer Integrated Manufacturing – Begriffe, Definitionen, Funktionszuordnungen. Eschborn 1985

BRACHT Uwe, GECKLER Dieter, WENZEL Sigrid: Digitale Fabrik – Methoden und Praxisbeispiele. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011 – 1. Auflage

BÜTTNER Karl-Heinz: Die digitale Fabrik entwickelt sich weiter in Richtung Industrie 4.0. I IA AS MF EWA März 2014 (Stand 20.05.2015) - <http://www.plattform-i40.de/sites/default/files/14-03-11CeBit-HMI%20EWA%20Industrie%204%200.pdf>

Digitales Hallenlayout Modell (Stand 22.06.2015) - <http://www.rsi-roboscanning.de/index.php/software/plant-simulation>

EIGNER Martin, STELZER Ralph: Produktmanagement-Systeme. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009 – 2. Auflage

Einführung in CIM, Pkt. 1.3.2 CIM Konzept nach Scheer (Stand 30.05.2015) - <http://www.geocities.ws/cimahi99/Cotbus2.htm>

EVERSHEIM Walter, BOCHTLER Wolfgang, LAUFENBERG Ludger: Simultaneous Engineering. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1995 – 1. Auflage

FRIEDLI Thomas, SCHUH Günther: Wettbewerbsfähigkeit der Produktion an Hochlohnstandorten. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012 – 2. Auflage

GROTH Uwe, KAMMEL Andreas: Lean Management – Konzept – Kritische Analyse – Praktische Lösungsansätze. Gabler Verlag Wiesbaden 1994

GRUPP Bruno: Integrierte Datenverarbeitung in der Praxis – Elektronische Stücklistenorganisation in der Praxis. Forkel-Verlag Stuttgart-Wiesbaden – 2. Auflage

HEINEN Edmund: Der entscheidungstheoretische Ansatz der Betriebswirtschaftslehre. ZfB 1971

HÄRTING Ralf-Christian, SCHMIDT Rainer, MÖHRING Michael, REICHSTEIN Christopher, NEUMAIER Pascal, JOZINOVIC Philip: Nutzenpotenziale von Industrie 4.0. BoD- Books on Demand Verlag, Norderstedt 2015

ICM – Information Chain Management (Stand 20.05.2015) - <http://www.information-chain-management.de/>

JOCHEM Roland: Prozessmanagement: Strategien, Methoden, Umsetzung. Symposium Publishing GmbH 2010 – 1. Auflage

Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. April 2013, (Stand 20.06.2015) - http://www.bmbf.de/pubRD/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf

SCHEER August-Wilhelm: CIM – Der computergesteuerte Industriebetrieb. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1988 – 3. erw. Auflage

SCHACK Rainer: Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik. Herbert Utz Verlag 2008 – Band 207

SCHOLZ Eckhard, BURKHARDT Christian, DIETRICH Sascha: Digital Mock-Up in der Produktentwicklung (Stand 15.05.2015) - <https://fbme.htwk-leipzig.de/fileadmin/fbme/informationen/TVorstellung/DMU.pdf>

SENDER Ulrich: Industrie 4.0 – Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM. Springer Verlag Berlin Heidelberg 2013

SENGSTBRATL Peter: ICT for Green, IKT für energie- und ressourceneffizienten Prozess. Präsentation Magna Steyr Dez. 2013 (Stand 10.06.2015) - <http://www.bmvit.gv.at/service/publikationen/innovation/downloads/iktifintes.pdf>

Simulationsmodell für virtuelle Absicherung (Stand 22.06.2015) - <http://www.rsi-roboscanning.de/index.php/software/process-simulate>

STÖTZER Sandra: Stakeholder Performance Reporting von Nonprofit-Organisationen. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009 – 1. Auflage

VDI-Fachbereich Fabrikplanung und -betrieb: VDI-Richtlinie: VDI 4499 Blatt 1 Digitale Fabrik – Grundlagen. ICS 03.100.50, 35.240.50, VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik 2008-02

VDI-Richtlinie: VDI 4499 Blatt 1 Digitale Fabrik – Grundlagen (Stand: 12.05.2015) - http://www.vdi.de/richtlinie/vdi_4499_blatt_1-digitale_fabrik_grundlagen.html

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Graz, 17.07.2015

Ort, Datum

Vorname Nachname